

## **ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM CABO VERDE QUALIDADE DA ÁGUA NA ILHA DE SANTIAGO**

<sup>1</sup> Heitor, A M.<sup>2</sup> Pina, A.P.

### **RESUMO**

Em Cabo Verde os recursos hídricos subterrâneos desempenham um papel fundamental, constituindo a principal fonte de abastecimento de água para as populações de pequenos aglomerados urbanos.

O trabalho que se apresenta enquadra-se num estudo alargado de caracterização de águas subterrâneas; foi efectuado nos seis concelhos da ilha de Santiago a maior do país, em captações do tipo poço, furo e galeria destinadas ao abastecimento da população através de chafarizes e resulta de uma parceria entre o Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos de Cabo Verde (INGRH) e o Instituto Nacional de Saúde, Porto de Portugal (INSA-Porto).

Com base nos dados obtidos, e no sentido de uma cooperação alargada, propõe-se a criação do Observatório de Águas Subterrâneas nos Países Africanos de expressão Portuguesa.

**Palavras-chave:** Águas subterrâneas, Cabo Verde, Santiago, Observatório

### **1.INTRODUÇÃO**

No mundo actual, a água assume uma elevada importância estratégica, dada a progressiva escassez face às necessidades crescentes da sua utilização.

Entre estas necessidades assumem particular relevância o abastecimento de água para consumo humano, para o qual se exigem rigorosos padrões de qualidade, quer da água fornecida, quer do serviço prestado aos consumidores.

Cabo Verde nesta matéria revela significativas insuficiências – além de se verificar um baixo nível de atendimento da população, constata-se o mesmo com o saneamento das águas residuais, outra importante componente do ciclo urbano da água.

Para modificar radicalmente esta situação, torna-se necessário realizar investimentos de grande vulto cujas estimativas atingem muitas centenas de milhões de contos.

Para além da componente financeira, a alteração da situação referida requer a participação de muitos meios humanos e técnicos e de elevada capacidade de organização, execução e gestão.

A congregação de todos os recursos atrás mencionados exige a mobilização em larga escala da iniciativa pública e privada, num esforço concertado que permita simultaneamente, desenvolver as capacidades nacionais existentes e potencializar por esta via, a internacionalização competitiva da actividade no quadro da globalização da economia que marca decisivamente o nosso tempo.

O trabalho que se apresenta foi efectuado nos seis concelhos da ilha de Santiago, a maior do país, em doze captações do tipo poço, furo e galeria para abastecimento da população através de chafarizes.

---

<sup>1</sup> Centro de Qualidade Hídrica – Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge – Porto

<sup>2</sup> Laboratório de Qualidade da Água – Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos de Cabo Verde



3. **Zona sub - húmida:** localizada entre 400 à 600 m de altitude, com uma pluviometria interanual que oscila entre 400 – 600 mm. Esta zona é mais vocacionada para a agricultura, podendo-se encontrar aqui várias espécies lenhosas, arbustivas e arbóreas disseminadas pelos campos agrícolas, tais como Acácia farnesiana, Acácia nilotica, Adansonia digitata, Anacardium occidentale, etc.
4. **Zona húmida:** situada acima dos 700 m de altitude, com uma pluviometria média anual superior a 600 mm. Em termos de produção agrícola e forrageira é a mais produtiva. Nas principais ilhas agrícolas do país (Santo Antão, Santiago, S. Nicolau e Fogo), estas zonas são consideradas de uma importância vital para a infiltração das águas pluviais e a recarga dos aquíferos.

### 2.3. Geologia:

Geologicamente é constituída por rochas de origem vulcânica, áreas montanhosas de feição íngreme e acidentada, ocupando mais de 80% do território. A ilha configura poucas áreas planas como o planalto central, que nada mais é do que uma montanha bastante corroída pela erosão, e a estreita planície aluvial ao longo dos rios e da costa.

As duas montanhas mais elevadas são, a **Serra da Malaqueta** que se estende de Leste a Oeste ao longo da porção setentrional da ilha, com o ápice de 1.064m acima do nível do mar e o **Pico da Antónia** com 1.394m cujo o ponto mais elevado da ilha que se estende vertido ao Sul e depois a Sudeste, atravessando a ilha (Fig. 2).

A maioria dos rios e afluentes apresentam declives acentuados, com pouca profundidade e nos vales com profundos cortes em V e embarrancareis.

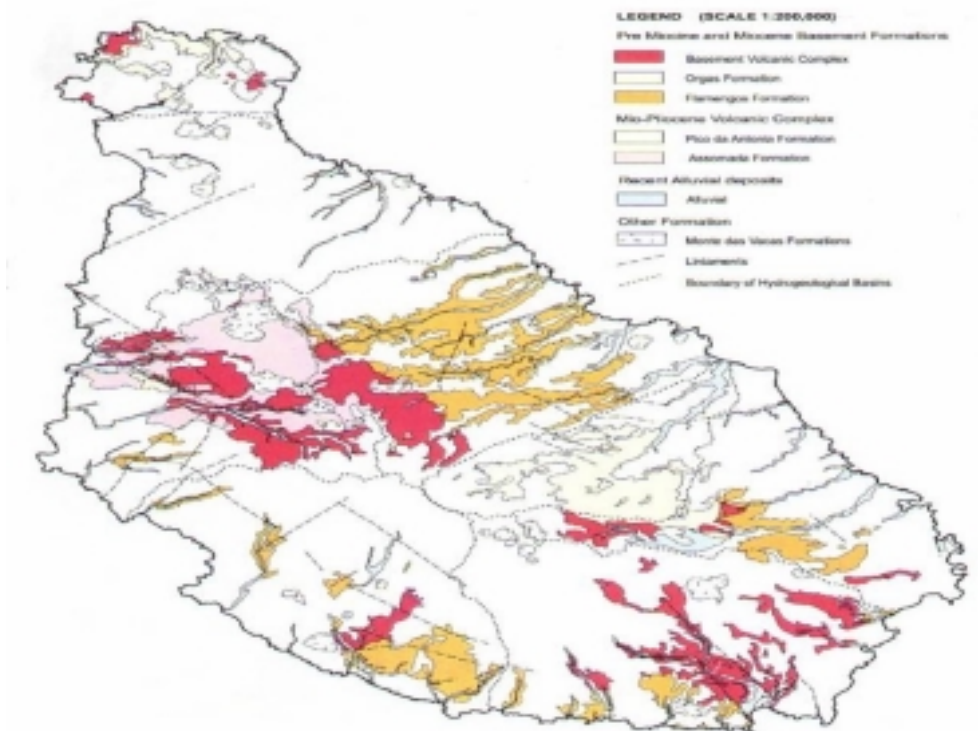


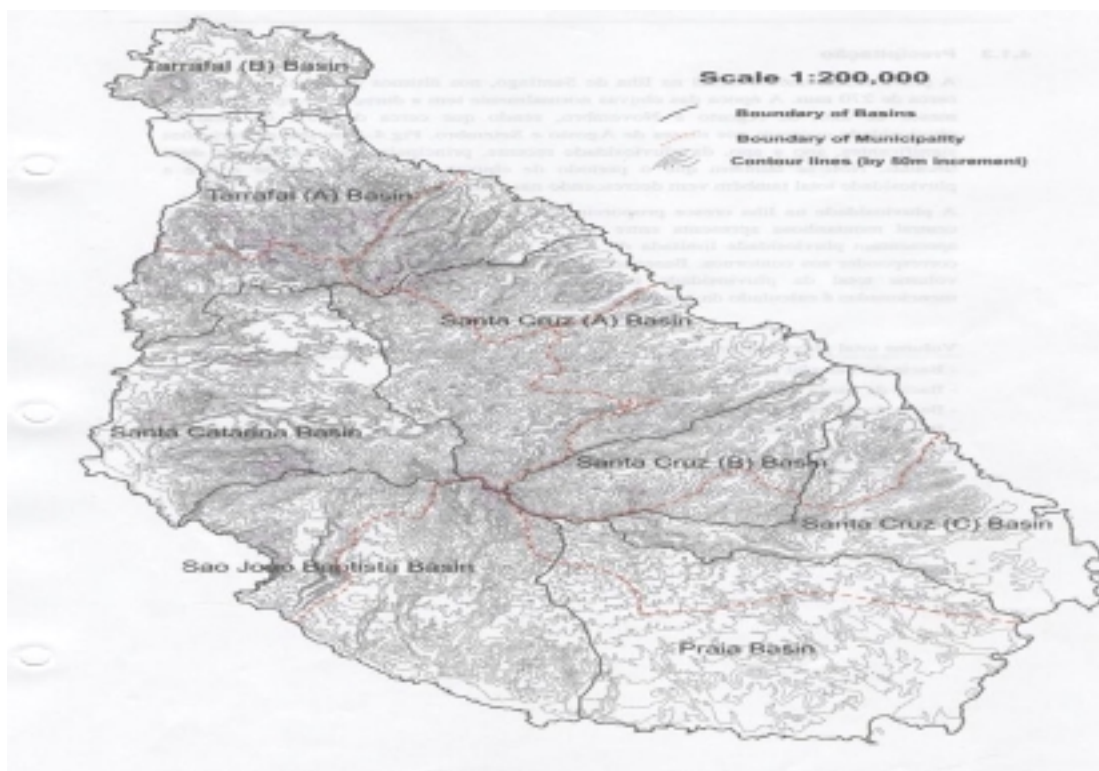
Fig. 2 – Mapa Geológico da Ilha de Santiago (Fonte IGC, 1973)

## 2.4. Divisão das Bacias Hidrográficas:

A ilha apresenta cinco (5) bacias hidrogeológicas, todas compreendendo diversas áreas de captação de variadas dimensões. As maiores extensões montanhosas, (Serra da Malagueta e o Pico da Antónia) que dividem geograficamente as bacias, controlam as direcções, tanto da água superficial como do fluxo da água subterrânea (Fig. 3).

### Bacias Hidrogeológicas:

- **Bacia do Tarrafal:** face setentrional da Serra da Malagueta é dividida em dois sub bacias; A e B.
- **Na Bacia do Tarrafal A,** a quantidade total de água explorável é estimada em cerca de 2.166 milhões de m<sup>3</sup>/ano, ou seja, 5.934 m<sup>3</sup>/dia. O aquífero principal localiza-se na formação do Pico de Antónia, mas, a maior parte da água subterrânea é armazenada no sopé setentrional da Serra da Malagueta.
- **Na Bacia do Tarrafal B,** a área de captação é pequena com formação aquífera fina, dificultando o desenvolvimento da água subterrânea. Por isso, o caudal volumétrico deve ser limitado a 0,529 milhões de m<sup>3</sup>/ano, ou 1449m<sup>3</sup>/dia.
- **Bacia de Santa Cruz:** face nordeste da Serra do Pico da Antónia é dividida em três sub bacias, incluindo também a área de captação da Ribeira Seca; Devido a estreita e fina distribuição da formação do Pico da Antónia, o seu potencial de exploração é baixo coma água a ser extraída da camada de depósitos aluviais.
- **Bacia de Santa Catarina:** face meridional da Serra da Malagueta e a Oeste da Serra do Pico da Antónia, incluindo três principais áreas de captação: da Barca, do Charco e das Águas que fluem em direcção a Oeste.
- **Bacia de São João Baptista:** face Sudoeste da Serra do Pico da Antónia. As áreas ao longo dos alinhamentos apresentam algumas zonas ricas em fissuras favoráveis para a recarga da água subterrânea, uma vez que o nível de água na formação do Pico é geralmente baixo. Cuidados especiais devem ser tomados aquando da definição dos pontos de perfuração.
- **Bacia da Praia:** bacia localizada na zona mais meridional da ilha. Coberta pelos aquíferos da formação do Pico da Antónia. A espessura dos aquíferos na área é favorável para a exploração, com forte potencial de recarga abundante da água subterrânea.



*Fig. 3 – Localização das Bacias Hidrográficas.*

## 2.5. Água da Ilha de Santiago:

Na ilha de Santiago, a água das nascentes é utilizada para o consumo doméstico e para irrigação, principalmente nos concelhos da Praia e de Santa Catarina. Existem 102 furos na ilha, que produzem uma média de aproximadamente 9.500 m<sup>3</sup>/dia. Cerca de 76% da água total produzida pelos furos existentes nos concelhos da ilha de Santiago é usada na agricultura, (5.700 m<sup>3</sup>/dia), sendo os restantes (3.800 m<sup>3</sup>/dia) usados no abastecimento doméstico, exceptuando o Concelho da Praia, onde cerca de 90% da água captada por este meio é utilizada para fins domésticos (Fig. 4).

Visto que o volume da água para fins domésticos é muito menor do que para irrigação, o número de furos apropriados para o uso doméstico deve ser expandido independentemente da viabilidade limitada dos recursos de água subterrânea na ilha.

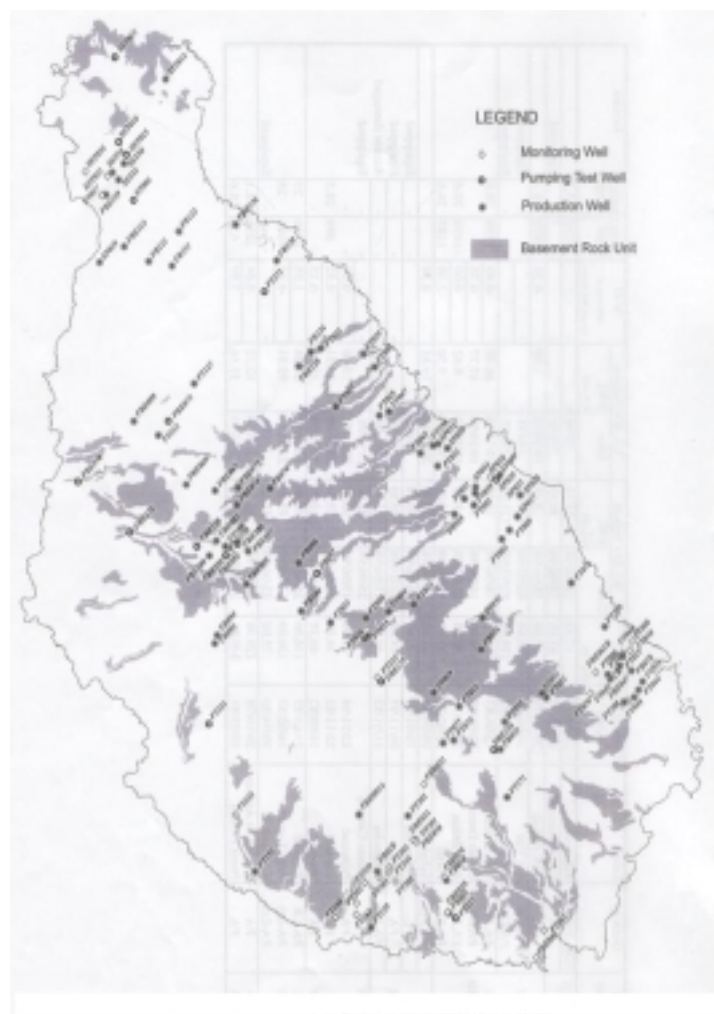
O número de nascentes, bem como a respectiva produtividade, têm revelado tendência decrescente nos últimos 20 anos, em resultado da redução de pluviosidade ocorrida nesta ilha em particular.

O estudo de desenvolvimento da água subterrânea em Cabo Verde refere que para a ilha de Santiago, o consumo per capita de água é muito baixo em consequência da escassez dos recursos hídricos disponíveis, sendo o valor médio de captação igual a 11 litros/dia, numa gama de 7 a 20 litros/dia para infra-estruturas hídricas comunitárias e de 33 litros/dia para as ligações domiciliárias (valor aquém do mínimo recomendado pela Organização Mundial da Saúde, 40 litros/habitante/dia).

A água subterrânea é o recurso hídrico mais utilizado nesta ilha, representando a única origem de abastecimento para as zonas rurais, sendo explorada em nascentes e furos.

A água do mar dessalinizada é utilizada apenas na cidade da Praia. Nas ilhas de São Vicente, Sal, Boavista e de Maio, também se utiliza para abastecimento das populações este tipo de recurso hídrico. Apesar dos custos associados serem elevados, a tendência de evolução é no sentido crescente, devido à situação de seca prolongada no país.

Toda a água é fornecida após ter sido submetida a desinfecção com o Hipoclorito de Cálcio a 70% ou de Sódio à 35% e controlado o nível de cloro residual livre.



*Fig. 4 – Localização das origens subterrâneas*

### 3. METODOLOGIA:

Com o objectivo de caracterizar as águas de abastecimento o INGRH inventariou todas as origens e recolheu 110 amostras. Cada amostragem englobou análises no local para determinação de temperatura, pH, turvação e condutividade. As amostras foram colhidas em frascos de polietileno e enviadas para os dois laboratórios. No Centro de qualidade Hídrica do INSA – Porto determinaram-se os parâmetros:

- pH, condutividade (Electrometria);
- Turvação (Turbidimetria);
- Alcalinidade (Volumetria);
- Cloretos, Sulfatos, Nitratos, Flúor (Cromatografia Iónica);
- Nitritos, Amónio (Espectrometria de Absorção Molecular);
- Sódio, Potássio (Espectrometria de Emissão);
- Cálcio, Magnésio (Espectrometria de Absorção Atómica);
- Sílica, Ferro (Fluxo Contínuo Segmentado);
- Oxidabilidade (M. ácido 10 min);

Paralelamente procedeu-se à intercalibração dos métodos analíticos utilizados nos dois laboratórios para os parâmetros: cloretos, sulfatos, nitratos, nitritos, alcalinidade e cálcio.



#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Em anexo apresentam – se os valores correspondentes às características físico-químicas das amostras colhidas na Ilha de Santiago. A análise dos dados, utilizando a classificação adoptada por Custódio e Llamas (1983) para águas subterrâneas, permite-nos dividir o conteúdo global dos iões fundamentais em três classes:

Classe A – Constituída pelas amostras de Doby e S. Miguel (Tabela 1)  
Tabela 1 – Grupo de amostras com teor elevado de iões fundamentais

LOCAL	Cloretos ppm-Cl	Sulfatos ppm-SO <sub>4</sub>	Bicarbonatos ppm-HCO <sub>3</sub>	Sódio ppm-Na	Cálcio ppm-Ca	Magnésio ppm-Mg
<b>Doby</b>	<b>240</b>	28,1	256	64,6	8,4	7,1
<b>S.M. Várzea</b>	<b>243</b>	30,3	293	77,6	60,0	54,6
<b>S.M. A. Pizarro</b>	<b>216</b>	35,5	395	165	40,0	45,0

Classe B – Engloba 4 origens – Santa Cruz S. Domingos e Praia (Tabela 2)  
Tabela 2 – Grupo de amostras com teor médio de iões fundamentais

LOCAL	Cloretos ppm-Cl	Sulfatos ppm-SO <sub>4</sub>	Bicarbonatos ppm-HCO <sub>3</sub>	Sódio ppm-Na	Cálcio ppm-Ca	Magnésio ppm-Mg
	<b>97.2</b>	16.4	255	77.5	28.0	32.9
<i>S. C. Terra Branca</i>						
<b>S.C.Achada de. Fát.</b>	<b>104</b>	24.6	344	93.6	35.5	45.0
<b>S. Domingos</b>	<b>123</b>	21.4	154	61.5	31.0	29.8
	<b>114</b>	4.9	45	64.6	8.4	7.1
<i>Praia A. S.Antº.</i>						

Classe C – Engloba 5 origens– Assomada, Tarrafal, Picos, Chão Bom e Praia (Tabela 3)  
Tabela 3 – Grupo de amostras com baixo teor de iões fundamentais

LOCAL	Cloretos ppm-Cl	Sulfatos ppm-SO <sub>4</sub>	Bicarbonatos ppm-HCO <sub>3</sub>	Sódio ppm-Na	Cálcio ppm-Ca	Magnésio ppm-Mg
<b>Assomada Cutelo</b>	<b>57.8</b>	7.6	184	57.5	20.8	17.5
	<b>55.6</b>	9.5	181	65.7	7.8	15.8
<b>Tarrafal</b>						
	<b>61.0</b>	23.6	129	61.5	18.0	19.7
<i>Picos</i>						
	<b>47.6</b>	9.7	165	49.5	17.2	15.6
<i>Chão Bom</i>						
	<b>46.8</b>	7.1	131	36.5	15.6	14.3
<i>Praia Achadinha</i>						

Dos iões menores, verifica-se que assumem particular importância os nitratos com variações de 4,1 a 46,7 mg/L; os fluoretos, que por se tratar de uma região vulcânica apresentam na generalidade valores superiores aos encontrados em águas subterrâneas de outras regiões hidrogeológicas, com excepção para as amostras analisadas na Praia.

Todas as amostras apresentam teor muito baixo em ião ferro e apenas 3 origens ultrapassam os 10mg/L em potássio.

O teor em sílica oscila entre 30 e 61,4 mg/L, excepto o ponto - Achada de Santo António (6,4 mg/L).

## 5. EFEITOS NO AMBIENTE E NA SAÚDE PÚBLICA

A sobreexploração dos furos, facilitando a intrusão da água do mar, associada à localização do aquífero principal da área, poderá estar na origem do teor elevado em cloretos da classe A. Tratando-se de um país com clima tropical seco com reduzida

pluviosidade, é dificultada a recarga natural dos aquíferos. Esta concentração pode representar riscos para a saúde em grupos vulneráveis (hipertensos); por outro lado, a relação entre as concentrações de magnésio e de cálcio e os valores elevados de sílica determinados nas águas da ilha de Santiago, podem eventualmente revelar-se como factores de protecção para as doenças cardiovasculares.

## 6. RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES:

A qualidade da água não poderá continuar a ser preterida relativamente à quantidade, pelo que se torna urgente a criação de instrumentos legislativos que permitam controlar a água destinada ao consumo humano. A localização inconveniente da maioria das nascentes da ilha limita o uso das águas das nascentes para fins domésticos: menos de 2% em volume e menos de 8% em número de nascentes.

Dado que o uso da água das nascentes não impõe impactos adversos na conservação da água subterrânea, devem ser levadas em consideração outras formas práticas de usar este recurso, para além da exploração artificial através da construção de furos.

Devem ser tomadas medidas no sentido de eliminar por completo a utilização de poços particulares para abastecimento e controlar com medidas severas os vendedores de água que não cumpram os requisitos legais para o efeito.

Sendo a água subterrânea o único recurso de abastecimento da água nas zonas rurais da ilha de Santiago explorado através de nascentes e furos, para o uso sustentável deste bem para fins domésticos, a exploração hídrica subterrânea deve ser cuidadosamente controlada, principalmente porque o decréscimo da pluviosidade nas últimas décadas vem restringindo estes recursos.

## OBSERVATÓRIO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS – PROPOSTA

As águas subterrâneas durante muito tempo consideradas protegidas das várias actividades humanas, são atingidas pela infiltração de muitos poluentes. A falta de água tem o efeito nefasto de aumentar a concentração de produtos indesejáveis, constituindo uma ameaça para a qualidade dos recursos hídricos, mas obriga a tomar consciência da vulnerabilidade deste elemento vital fundamental. A qualidade da água, veículo de agentes indispensáveis ou nocivos, é primordial para a saúde do homem.

O uso de águas superficiais torna-se cada vez mais problemático devido aos altos custos de reabilitação. Os recursos hídricos subterrâneos constituem, mais que uma reserva estratégica, uma alternativa de abastecimento simples, eficiente e de baixo custo.

A criação de um observatório de águas subterrâneas teria como objectivos:

- O conhecimento das águas subterrâneas, de acordo com as características hidrogeológicas regionais.
- A implementação de valores de referência de qualidade, estabelecidos com base em análises, identificando-se e controlando-se as fontes de poluição.



- A implementação de valores de intervenção estabelecidos com base no risco potencial para a saúde humana.
- O estabelecimento de normas no sentido da prevenção e controlo da poluição.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradece-se a todos os que directa ou indirectamente permitiram a realização deste trabalho, particularmente às equipas dos dois laboratórios.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Custódio, E; LLamas, M.R. - Hidrologia Subterrânea, Ómega, Barcelona, 1983

Estudo sobre o Desenvolvimento da Água Subterrânea na Ilha de Santiago, Vol. 2, Kokusay Kogio Co., Japan Tecno.

Visão Nacional da Água, a Vida e o Ambiente



# **ZONAS DE PROTECÇÃO DE AQUÍFEROS O CASO DA FORMAÇÃO “KARST” DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**

**António S. NEVES**

Geofísico, Doutorado em Geofísica (MIT, USA), Consultor da Earth Tech, Brasil: [asnves@visualnet.com.br](mailto:asnves@visualnet.com.br)

**José V. COSTA**

Engenheiro Civil, Gerente da PROCESL – Engenharia Hidráulica e Ambiental, Lda.; [jcosta@procesl.pt](mailto:jcosta@procesl.pt)

**José V. SOCORRO**

Arquitecto Urbanista (UFPr), Consultor da Earth Tech, Brasil;

**Luiz F. NETO**

Geólogo, com especialização em SIG (UFPr), Earth Tech, Brasil: [fomazzari@uol.com.br](mailto:fomazzari@uol.com.br)

## **RESUMO**

A Região Metropolitana de Curitiba, com cerca de 3 milhões de habitantes, encontra-se em franca expansão, verificando-se, em particular nos municípios adjacentes a norte, uma crescente tendência de ocupação urbana e de desenvolvimento do sector industrial. Essa região, designada localmente por Karst, abrange uma larga faixa de rochas calcárias, nas quais ocorre um importante aquífero, ambientalmente muito frágil, tanto do ponto de vista geotécnico – sendo frequentes o colapso e afundamento de construções - como da vulnerabilidade do aquífero a contaminações superficiais.

O estudo efectuado teve como objectivo estabelecer o ordenamento do uso e ocupação do solo, tendo em conta as características físicas e antrópicas da região, numa área de cerca de 1 000 km<sup>2</sup>, orientando o seu desenvolvimento e assegurando a protecção do potencial hídrico subterrâneo.

Realizaram-se estudos e elaboraram-se mapas sobre as áreas temáticas pertinentes, incluindo, quanto ao meio físico, o estudo da hidrografia e captações subterrâneas, localização das zonas de recarga do aquífero, mapas de declividades, de compartimentação geomorfológica, de património espeleológico, de cobertura vegetal e de aptidão agrícola dos solos. Quanto ao meio antrópico, foram efectuados estudos e produzidos mapas sobre o uso e ocupação actual do solo, demografia, sistema viário regional, localização dos equipamentos urbanos e produção económica local. A análise do quadro institucional e da legislação ambiental aplicáveis à área, visando orientar a sua optimização e aplicação, complementou os trabalhos.

O cruzamento dos dados obtidos permitiu a identificação dos conflitos existentes e a elaboração da proposta de zoneamento para o futuro uso e ocupação do solo do Karst.

Palavras-chave: aquífero, Karst, uso, ocupação, zoneamento.

## **1 – INTRODUÇÃO**

### **1.1. Objectivos do estudo e escala de trabalho**

Em torno da cidade de Curitiba, capital do Estado do Paraná, distribuem-se 25 municípios que constituem a Região Metropolitana de Curitiba, frequentemente referida como RMC. Os municípios contíguos a Curitiba vêm sendo ocupados na última década pela expansão urbana da capital, em consequência do seu acelerado crescimento económico.

A expansão urbana para norte desperta sérias preocupações ambientais porque a região adjacente a Curitiba – designada localmente por Karst – é atravessada no sentido WSW–ENE por uma faixa de rochas

metacalcárias onde ocorre um aquífero considerado potencialmente importante para o abastecimento da RMC. A área dos metacalcários exibe extrema fragilidade ambiental, tanto sob ponto de vista geotécnico, evidenciado em sérios afundamentos de construções, como em termos de poluição do aquífero por infiltração de agrotóxicos e de esgotos não tratados. Exceptuando-se as zonas urbanizadas das sedes dos municípios do Karst, predominam na região extensas culturas agrícolas e numerosas pedreiras de calcário.

Perante a dispersão, fragmentação e insuficiência de dados na região de interesse, a COMEC – Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba, órgão do Governo do Estado do Paraná, decidiu realizar o projecto de Zoneamento do Uso e Ocupação do Solo na Região do Karst, numa área de cerca de 1000 km<sup>2</sup>, abrangendo 7 municípios a norte de Curitiba: Campo Largo, Campo Magro, Almirante Tamandaré, Colombo, Bocaiúva do Sul, Itaperuçu e Rio Branco do Sul (Figura 1), de forma a obter uma visão global das características da região, numa escala de semi-detelhe (1/20 000).



Figura 1 Municípios da área de projecto

A construção da base cartográfica foi efectuada com o apoio de fotografia aérea, de imagem satélite e de verificações de campo, tanto para correcções como para actualização das feições geográficas, tendo-se constatado que a carta 1/20 000, produzida a partir dos originais 1/10 000, se revelou de grande precisão.

A partir da base cartográfica foi elaborado um modelo digital do terreno da região que se revelou de enorme importância para o estudo dos diversos temas do meio físico.

## 2. MEIO FÍSICO

### 2.1. Hidrografia

O complexo hidrográfico do Estado do Paraná abrange dois grandes sistemas: a bacia Atlântica e a bacia do rio Paraná, cujos cursos de água penetram para o interior do continente, desaguando no Oceano Atlântico, pela foz do rio da Prata, após um percurso de aproximadamente 2 500 km.

A área de estudo ocupa ambos os lados do interflúvio, numa região topograficamente elevada, com cotas quase sempre acima dos 1 000 m; do lado sul desenvolve-se a sub-bacia do Alto Iguaçu e a norte a sub-bacia do rio Ribeira (Figura 2).

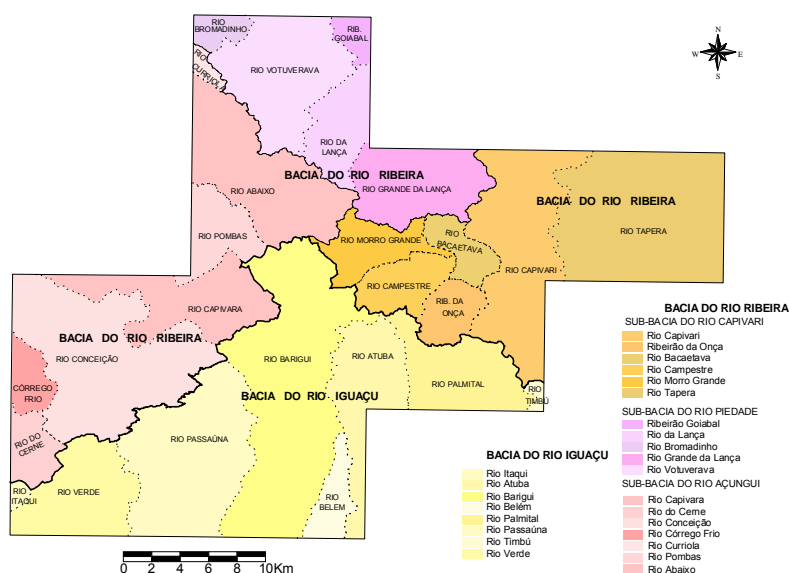


FIGURA 2 Bacias hidrográficas da área dos estudos

Ao longo do limite norte da bacia do Iguaçu estende-se a faixa de rochas carbonáticas do Karst, origem de consideráveis mananciais subterrâneos que alimentam as nascentes de vários afluentes do rio Iguaçu e do rio Ribeira.

Os mananciais subterrâneos exercem uma função estabilizadora na vazão destes rios, verificando-se que, enquanto na época seca, a composição química das suas águas se aproximam da composição química da água do aquífero do Karst, na estação chuvosa as águas têm uma composição química nitidamente pluvial. O exame das características da hidrografia e das captações de água subterrânea da área em estudo permitiu apoiar o mapeamento geológico, hidrogeológico e a avaliação das características de infiltração das diversas formações geológicas.

## 2.1. Geologia

A definição dos limites do aquífero do Karst exigiu uma revisão e actualização dos estudos geológicos da área, recorrendo ao modelo digital do terreno, à fotografia aérea, à imagem de satélite e a estudos anteriores disponíveis.

Os mapeamentos geológicos na região norte da RMC têm sido realizados sistematicamente por diversos investigadores, nas áreas de ocorrência dos metassedimentos do Grupo Açungui e de outras unidades associadas, abrangendo áreas restritas e com objectivos localizados e específicos. No Plano de Zonamento procurou-se abordar a geologia da região de forma resumida mas integrada, tomando como base trabalhos de investigação geológica que dedicaram uma maior atenção ao mapeamento das unidades geológicas na escala de cartografia de 1/10 000, sem a preocupação de realizar um histórico da evolução das diferentes divisões litoestratigráficas do Grupo Açungui.

A existência de diversas colunas estratigráficas citadas por diversos autores para a região do estudo, denota a dificuldade para o entendimento da evolução geológica bem como o posicionamento das unidades geológicas em termos estratigráficos e tectónicos.

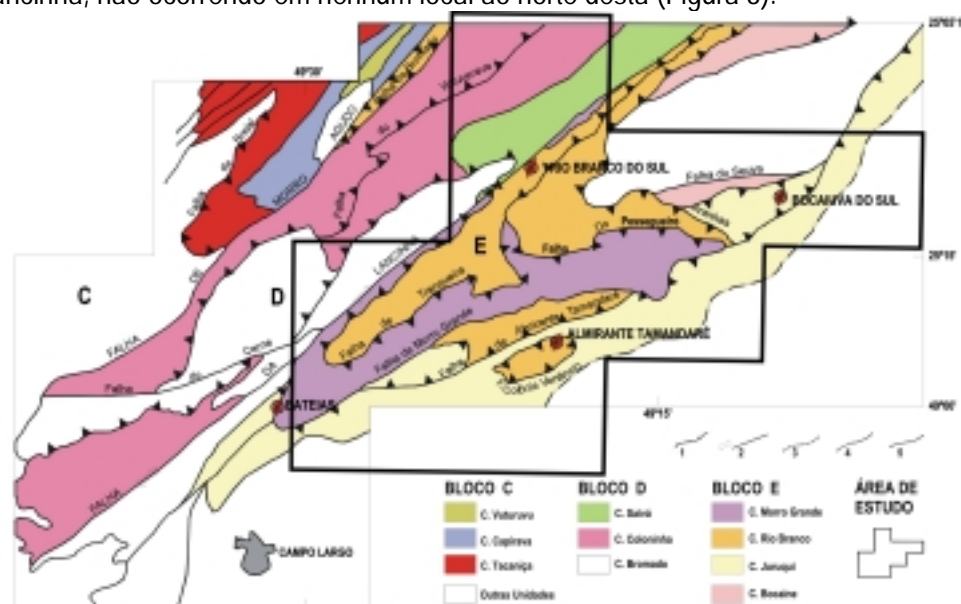
No Quadro 1 apresentam-se as unidades consideradas no Plano e a respectiva distribuição geográfica na área de projecto:

Quadro 1 Unidades geológicas

Geologia	Idade	Distribuição Geográfica
Depósitos Aluvionares	Quaternário Holoceno	Distribuídos por toda a área
Formação Guabirotuba	Quaternário Pleistoceno	Algumas áreas dispersas no limite sul do projecto
Sedimentos Indiferenciados	Terciário–Quaternário	Em Bocaiúva do Sul
Intrusivas Básicas	Jurássico–Cretáceo	Diques doleríticos atravessando a área segundo SE–NW
Monzo e Sieno Granitos	Proterozoico Superior–Cambriano	Pequenas áreas em Morro Grande, Cerne e Rio Abaixo
Grupo Açungui – Formação Votuverava	Proterozoico Superior	Área a norte da falha da Lancinha, na folha de rio Branco
Grupo Açungui – Formação Capiru	Proterozoico Superior	Faixa atravessando a área no sentido SSW–NEE
Grupo Setuva	Proterozoico Médio	Sinclinal de Setuva situado a norte de Bocaiúva do Sul
Complexo Gnáissico Migmatítico	Proterozoico Inferior–Arqueano	Limite sul do projecto e área a norte de rio Branco

Os conjuntos litológicos pertencentes ao Grupo Açungui (Formação Capiru e Formação Votuverava), que a seguir se descrevem sucintamente, assumem importância fundamental para os estudos, tanto pelas suas características específicas como pela extensão significativa que abrangem na área de projecto:

- **Formação Capiru** – distribui-se segundo uma faixa com direcção NE–SW com largura variando entre 9 a 19 km, ocupando a região de sudoeste a nordeste da área de estudo. Tem os seus limites dados a norte pela Zona de Cisalhamento Transcorrente da Lancinha, a qual baliza os seus contactos com as Formações Votuverava e Perau, e com rochas do Anticlinal do Betara. A sul e nordeste, limita-se através de contactos normais discordantes e por falhas transcorrentes e inversas; na área de interesse, os litotipos dessa unidade, ocupam a maior parte da área da mesma, restringindo-se a sua distribuição espacial exclusivamente à região a sul da falha da Lancinha, não ocorrendo em nenhum local ao norte desta (Figura 3).



**FONTE:** SILVA, P.C.S., 1999 – Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Curitiba, Folha SG.22–X–D–I, escala 1/100 000, CPRM

**FIGURA 3** Distribuição geográfica dos conjuntos litológicos pertencentes ao grupo Açungui

As rochas carbonáticas da Formação estão representadas principalmente por extensos pacotes de metacalcários dolomíticos, distribuídos na região próxima às cidades de Almirante Tamandaré, Colombo, Rio Branco do Sul e Bocaiúva do Sul, com colorações predominantemente esbranquiçadas a acinzentadas claras. Neste litotipo é bastante comum a presença de estruturas de dissolução química ao longo de fracturas, onde a presença de dolinas, grutas, sumidouros e surgências e outras formas cársticas são frequentes. Em algumas regiões da sua área de ocorrência, o relevo apresenta-se significativamente aplainado, sendo recoberto por uma espessa camada de materiais inconsolidados.

- **Formação Votuverava** – compreende uma espessa faixa que domina quase toda a região noroeste da área de estudo, tendo os limites tectónicos dados pela falha de transcorrência com a Formação Capiru e em alguns locais em contacto normal com a Formação Água Clara; na área de interesse, os litotipos dessa unidade ocupam boa parte da região norte da área de estudo, restringindo-se exclusivamente à região norte da falha da Lancinha, não ocorrendo em nenhum local, ao sul desta. Esta Formação é constituída por uma sequência de metasedimentos de baixo grau metamórfico, fácies xisto-verde, onde podem ser reconhecidos os domínios de litofácies distais, bem como as litofácies da zona de transição.

## 2.1 Hidrogeologia

Dada a sua importância para o abastecimento de água à região e para o zoneamento a estabelecer, os trabalhos do Plano sobre a hidrogeologia do Karst concentraram-se fundamentalmente no estudo das características dos metacalcários da Formação Capiru, tendo-se focado os aspectos de compartimentação, piezometria, localização das zonas de recarga e espeleologia.

### Unidades hidrogeológicas

A definição das unidades hidrogeológicas baseou-se no tipo de permeabilidade e natureza das rochas ocorrentes na região. A actualização do mapeamento geológico e o modelo digital do terreno executados durante o projecto contribuíram para uma melhor localização e caracterização dos limites das unidades hidrogeológicas.

O mapa hidrogeológico elaborado para o projecto definiu as unidades hidrogeológicas como sistemas aquíferos principalmente em função do tipo de permeabilidade e natureza das rochas da região, tendo sido estabelecidas 5 grandes divisões: *Aluviões*, *Formação Guabirotuba*, *Karst*, *Embasamento Cristalino*, *Fissural Indiferenciado*.

A unidade Karst, considerada como o grande sistema aquífero da área, foi por sua vez dividida em três subunidades:

- metacalcários dolomíticos da Formação Capiru;
- metacalcários calcíticos da Formação Votuverava;
- filitos e quartzitos da Formação Capiru.

Esta subdivisão, incluindo os filitos e quartzitos da Formação Capiru, justifica-se em função do arranjo espacial destas rochas com os metadolomitos da mesma unidade.

Já para a Formação Votuverava, apenas os metacalcários calcíticos foram considerados como pertencentes ao aquífero do Karst, dado a sua ocorrência em lentes individualizadas, de pequenas dimensões. Em relação aos filitos e outras rochas que as envolvem, não existem as mesmas relações espaciais que caracterizam a Formação Capiru. Neste caso, os filitos e quartzitos foram incluídos na unidade Fissural Indiferenciado.

### Compartimentação do aquífero do Karst

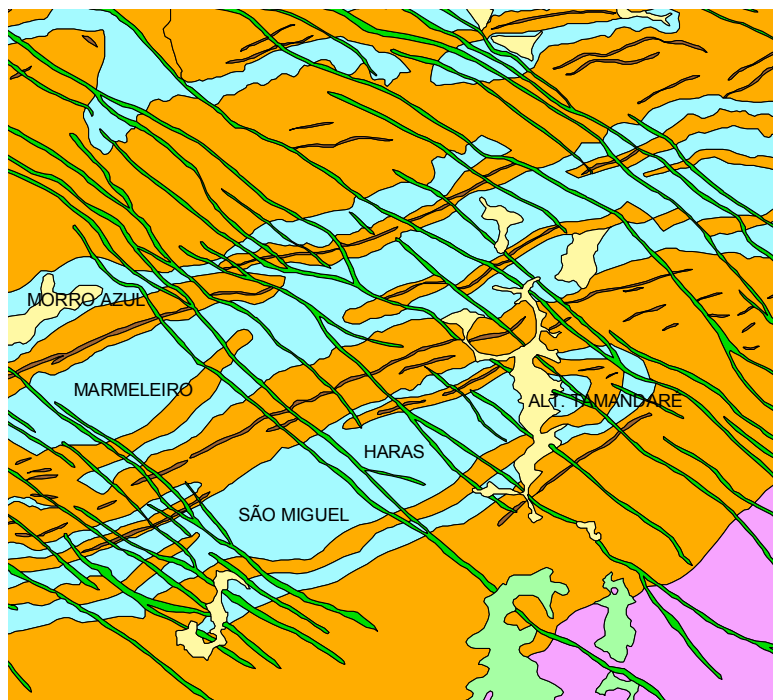
Para apoio aos trabalhos do Plano considerou-se importante definir duas zonas separadas para as rochas da Formação Capiru:



- Zona de Influência Directa do Karst – situada directamente sobre os metacalcários dolomíticos, caracterizada, portanto, por um lado, por maior vulnerabilidade ambiental e geotécnica, e por outro lado, por estar directamente relacionada com as características de recarga e produção do aquífero;
- Zona de Influência Indirecta do Karst – compreendida pelas áreas de quartzitos e filitos intercalados com metacalcários dolomíticos e pelas áreas das rochas do entorno, cuja drenagem corre para os calcários; com excepções insignificantes, a zona de influência indirecta é constituída por filitos e quartzitos.

O contexto morfoestrutural delineado por LISBOA e BONACIM (1995), pressupõe uma compartimentação onde se verificam massas carbonáticas (metacalcários calcíticos e dolomíticos) com excelentes condições de permeabilidade, limitadas por fronteiras praticamente impermeáveis (cristas de filitos e quartzitos, entrecortadas por diques de diabásio). Essas fronteiras correspondem às direcções estruturais da região, onde se destacam as orientações SE–NW dos diabásios e as direcções próximas de WSW–ENE dos filitos e quartzitos, formando células losangulares de rochas carbonáticas, limitadas a NE e SW por diabásios, e a NW e SE pelos filitos e quartzitos.

Na Figura 4 apresenta-se parte do mapa geológico da região para a área a oeste de Almirante Tamandaré, onde pode ser observado o padrão geométrico da compartimentação dos Metacalcários do Aquífero do Karst (em azul), limitados no sentido WSW–ENE pelos Filitos e Quartzitos da Formação Capiru (em castanho claro), e no sentido SE–NW pelos diques de Diabásio (em verde). A Figura 5 mostra o Modelo Digital do Terreno da mesma área, onde o relevo exhibe claramente o mesmo padrão.



**Fonte:** Elaborado pelo Consórcio PROCESL/Earth Tech Brasil  
Figura 4 Mapa Geológico da Região a Oeste de Almirante Tamandaré

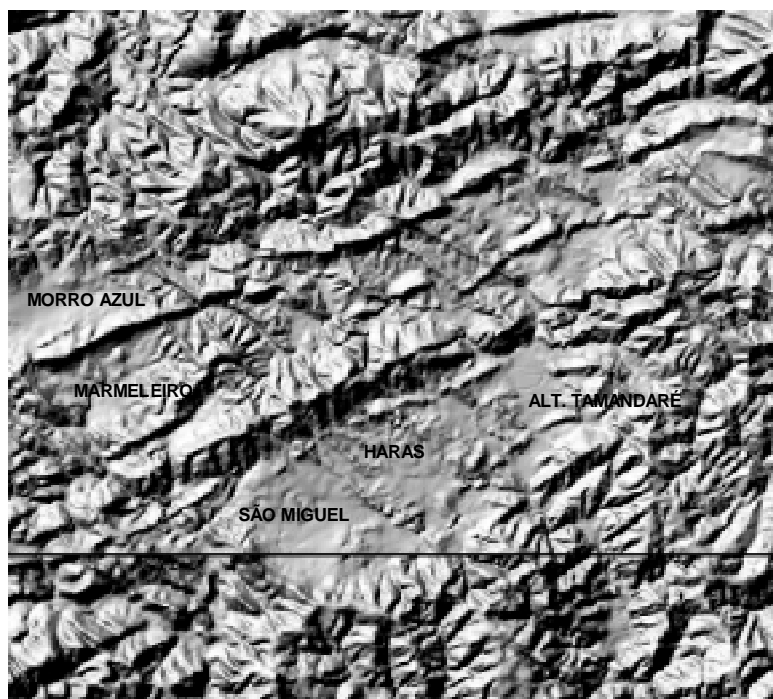


FIGURA 5 Modelo Digital do Terreno da Região a oeste de Almirante Tamandaré

### Piezometria

O estudo da piezometria da região baseou-se nos dados dos poços cadastrados na SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente e na SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. Grande parte dos 148 poços cadastrados concentra-se nos municípios de Almirante Tamandaré e Colombo, pelo que a sua distribuição no restante da área é escassa, dificultando a avaliação de uma superfície piezométrica completamente fiável.

Ainda assim, os poços existentes permitiram traçar uma superfície piezométrica de carácter indicativo, tendo-se obtido com esta abordagem uma relação espacial entre os limites das bacias superficiais e subterrâneas razoavelmente bem definida.

### Zonas e pontos de recarga

As zonas e pontos de recarga foram localizados pela identificação de estruturas cársticas e de feições geomorfológicas favoráveis, complementadas pela análise de surgências, piezometria e dados existentes.

Entre as estruturas cársticas superficiais mais comuns e visíveis, actuando como eficientes zonas de recarga, mencionam-se os sumidouros (formas abertas com ligação directa ao aquífero), dolinas (depressões de solo permeável) e “poljes” (planícies cársticas com ocorrência de variadas estruturas de absorção, incluindo dolinas).

As zonas de recarga desempenham duas funções de certo modo antagónicas em termos ambientais. Por um lado são avenidas preferenciais para reabastecimento dos mananciais subterrâneos, garantindo assim a sustentabilidade das vazões do aquífero. Por outro lado, representam os locais de maior fragilidade do Karst em termos da sua vulnerabilidade à passagem de produtos poluidores, transportados pelas águas da recarga. A determinação das zonas e pontos de recarga foi efectuada com base na carta planialtimétrica produzida no âmbito do projecto, no modelo digital do terreno elaborado a partir dela, no mapa geológico realizado para o projecto, a interpretação da fotografia aérea e de estudos anteriores, alguns deles inéditos, tendo-se provavelmente conseguido, no âmbito dos estudos do Plano, compilar o maior número de estruturas cársticas mapeadas até à data.

## Espeleologia

No mapa espeleológico elaborado no âmbito do projecto assinalaram-se 49 grutas, todas localizadas na bacia do rio Ribeira, resultantes dos maiores gradientes desta bacia e da exposição mais aflorante das rochas cársticas. A maior parte das grutas deste grupo ocorre nos metadolomitos da Formação Capiu. Apenas três grutas no município de Rio Branco do Sul – Saivá, Toca e Toquinho – se situam nos metacalcários calcíticos da Formação Votuverava.

Entre as 10 maiores cavernas paranaenses, três situam-se na região do projecto: a Gruta da Lancinha e a Gruta de Camprestino, com projecções horizontais de cerca de 1 800 m e 620 m, respectivamente, ambas no município de Rio Branco do Sul, e a Gruta de Itaperuçu, com cerca de 540 m de projecção horizontal (Figura 6).



*Figura 6 Galeria principal do segmento subterrâneo do rio Lança (Gruta da Lancinha – Rio Branco do Sul)*

Em 1997 foram analisados os dados de levantamentos anteriores constatando-se que, num universo de 77 cavidades da região, 40 encontravam-se destruídas, 16 parcialmente destruídas, 20 ameaçadas e apenas uma conservada.

No mapa espeleológico produzido para o projecto, além das áreas de influência das cavernas, foram delineadas as faixas marginais de protecção de 30 m, tanto dos cursos de água entrando ou saindo das cavidades, como de todos os cursos de água situados na bacia em que se encontra cada caverna.

## 2.4. Declividades

O mapa de declividades foi produzido automaticamente a partir da carta planialtimétrica digital na escala 1/10 000, tendo constituído um precioso apoio para o estudo de diversos temas do projecto.

A utilização isolada do mapa de declividades ocorreu principalmente na seleção de locais para utilizações que exigem gradientes suaves e para a localização de áreas sobre as quais incidem restrições de relevo para uso e ocupação do solo.

O uso do mapa de declividades ocorreu com maior frequência em conjunto com outros parâmetros espaciais, tendo em conta que vários temas estão intrinsecamente associados às características de declividade do terreno, nomeadamente, a geomorfologia, a aptidão agrícola dos solos e a adequabilidade ao uso e ocupação do solo.

## 3 - ACTIVIDADES ANTRÓPICAS

### 3.1 Uso actual do solo

A intervenção do homem nos últimos dois séculos modificou drasticamente a cobertura vegetal da região do Karst, através da utilização das florestas, dos campos e das várzeas no aproveitamento de seus recursos madeireiros e na sua transformação em pastagens, cultivos agrícolas e, mais recentemente, com a

implantação de povoamentos florestais de espécies exóticas, visando a produção de matéria-prima para a indústria do papel.

Remanescentes das formas da vegetação original são portanto escassos e, quando existentes, quase invariavelmente sofreram intervenções selectivas, com vistas ao aproveitamento das melhores madeiras.

As actividades agropecuárias correspondem a sistemas agrícolas produtivos, incluindo reflorestamentos, em que são utilizados predominantemente espécies dos géneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

As actividades de mineiração concentram-se nas áreas do Karst aflorante, em particular no município de Rio Branco do Sul e na parte norte dos municípios de Almirante Tamandaré e Colombo.

### 3.2 Dinâmica demográfica

A definição espacial da densidade demográfica urbana e rural e a compreensão de sua evolução, representam informações importantes para o zoneamento da região, uma vez que os municípios que integram a área de influência do Karst apresentam altos índices de crescimento populacional.

A população da RMC passou de cerca de 317 000 para 2 770 000 habitantes, entre 1950 e 2000, sendo que a maior parte dela está nos municípios que integram a mancha urbana de Curitiba, com participação significativa daqueles situados na área do Karst, como Colombo e Almirante Tamandaré, com taxas de crescimento da ordem de 5,87% e 4,25%, respectivamente.

No que diz respeito às projecções das taxas de crescimento total para 2005 e 2010, as tendências apontam para uma manutenção do cenário actual, com leve diminuição no ritmo de crescimento. Essa diminuição deverá ocorrer, aliás, em todo o Estado do Paraná, que no período 1991/2000 apresentava taxas de 1,40%, enquanto no período 2005/2010 deverá crescer apenas cerca de 1%.

### 3.3 Infraestrutura urbanas

- **Abastecimento de Água** – com excepção de Curitiba, abastecida pelo conjunto de barragens em torno da cidade, a restante parte da região recebe água principalmente das captações subterrâneas de Campo Magro, Almirante Tamandaré, Fervida, Várzea do Capivari, Tranqueira, Itaperuçu e Rio Branco. Apenas esta última cidade tem abastecimento próprio, independente do sistema SANEPAR.

Em 2002, o abastecimento proveniente das barragens atingia 7,6 m<sup>3</sup>/s, enquanto que a exploração das captações subterrâneas era da ordem de 0,7 m<sup>3</sup>/s.

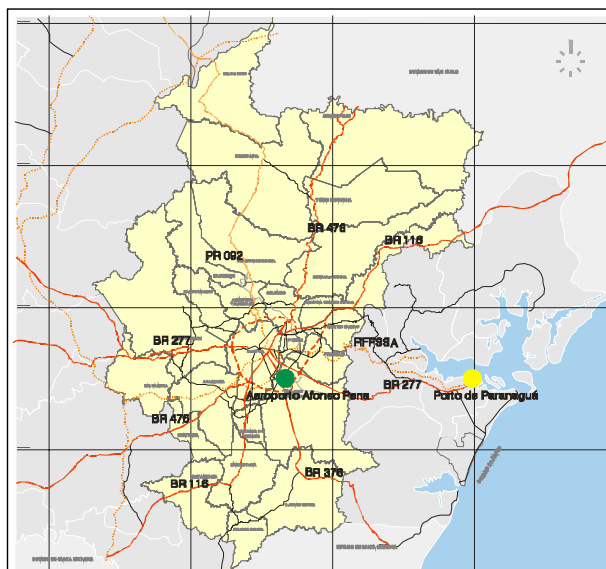
- **Esgoto Sanitário** – a rede de esgotos nos municípios de Colombo, Almirante Tamandaré e Bocaiúva do Sul servem, respectivamente, cerca de 44%, 4% e 10% da população, enquanto que nos municípios de Campo Magro, Itaperuçu e Rio Branco do Sul não existe qualquer rede, sendo utilizadas fossas sépticas e fossas rudimentares.

Constata-se, pois, que na área de projecto a situação relativa à recolha e tratamento de esgotos é particularmente grave, havendo um grande potencial de poluição hídrica.

- **Sistema Viário Regional** – a Região Metropolitana de Curitiba está localizada na rota de ligação entre os mais importantes centros produtores e consumidores do país e da América Latina, sendo cortada por rodovias federais, tais como:

- BR-116, importante eixo de acesso às regiões sul, sudeste e norte do Brasil;
- BR-376/101, que liga Curitiba ao litoral sul do Brasil, via Santa Catarina;
- BR-277, que proporciona acesso a Foz do Iguaçu, Paraguai e Argentina, em direcção oeste. No sentido oposto, é a principal via de acesso ao litoral do Estado, com acesso ao Porto de Paranaguá;
- BR-476, que liga Curitiba a São Mateus do Sul, em direcção sudoeste.

Outras rodovias estaduais que se destacam são a PR-090, ou Estrada do Cerne, que liga Curitiba a Campo Magro, a PR-092, conhecida como Rodovia dos Minérios, que liga a capital a Rio Branco do Sul e a Cerro Azul e a PR-417 (Figura 7), chamada também de Rodovia da Uva, que leva à sede de Colombo.



Fonte: COMEC-PDI / 2000

*Figura 7 Principais Rodovias da RMC*

A rodovia federal BR-476 e as rodovias estaduais PR-092, PR-090 e PR-417 são as que maior impacto ambiental têm sobre a região do Karst. Além da poluição que causam a longo do seu percurso, servem também de avenidas à ocupação da área.

Das diversas linhas-férreas que irradiam de Curitiba, destaca-se a que liga a capital a Rio Branco, utilizada principalmente no transporte de calcário e cimento, atravessando o Karst transversalmente de sul para norte.

### Equipamento urbano

O projecto inclui o mapeamento do equipamento urbano na região do Karst. Entre os equipamentos identificados e localizados encontram-se: creches, estabelecimentos de ensino, ginásios desportivos, hospitais e postos de saúde, cemitérios, delegacias, distritos policiais, terminais ferroviários, terminais de integração metropolitana, terminais rodoviários e parques.

Observou-se que existem equipamentos urbanos situados em locais não aconselháveis sob o ponto de vista geotécnico, em particular junto a dolinas. Por exemplo, em Almirante Tamandaré existem duas escolas nessas condições, uma das quais já exhibe rachaduras devido à subsidência próxima. Outro aspecto importante é a localização de cemitérios sobre os metacalcários da Formação Capiru.

## 2. MACROZONEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Tendo em conta a escala de trabalho estabelecida para o estudo, entendeu-se que o nível de formulação do Plano de Zoneamento deverá constituir um marco de referência para as subseqüentes incursões analíticas e prospectivas a serem conduzidas na região, mas que, ao mesmo tempo, seja capaz de fornecer um balizamento seguro para a pormenorização posterior de directrizes de planeamento ao nível local, bem como à definição de instrumentos normativos a nível sectorial, devendo o zoneamento em questão ser explicitado através de macro directrizes de uso e ocupação do solo, expresso na forma de "macrozoneamento".

A primeira compartimentação estabelecida para o macrozoneamento foi a de considerar a divisão entre o meio urbano e o meio rural. Com efeito, não obstante a evidente e notória interdependência entre ambos, para efeitos da adopção de políticas de intervenção, faz sentido diferenciar as áreas urbanas das áreas rurais, uma vez que o enquadramento institucional, os instrumentos de política e as entidades governamentais, pertinentes a cada uma delas, são também distintos.

No macrozoneamento estabelecido para as áreas urbanas são considerados, basicamente, três instrumentos de política:

- i) investimento em infra-estruturas sanitárias de esgoto, a qual deve ser acompanhada de rede de drenagem pluvial e de pavimentação viária;
- ii) controlo da densidade, através do estabelecimento da dimensão dos lotes para cada tipo de situação produzida pela interacção entre uso urbano e base física, conjugada com a fixação de padrões de edificação nos lotes, como, por exemplo, ocupação unifamiliar ou bifamiliar;
- iii) estabelecimento de percentuais máximos de edificação nos lotes, para assegurar áreas mínimas de permeabilidade do solo.

Além destes instrumentos de política, a metodologia adoptada para estabelecer o macrozoneamento considerou a base física como dividida em duas grandes áreas quanto à fragilidade associada ao uso do solo:

- i) zona de influência directa do Karst, que impõe grandes restrições à urbanização;
- ii) zona de influência indirecta do Karst, cujas limitações ao uso urbano são menos severas.

No que respeita à zona de influência directa do Karst, foram considerados casos de agravamento decorrentes da presença de “poljes” e de solos aluviais, tanto isolada como simultaneamente.

Com base nas considerações anteriores, foram definidos os diversos tipos de preservação e de ocupação da região:

- **Áreas de Restrição à Ocupação** - áreas destinadas à protecção permanente, nos termos da legislação ambiental federal e estadual, envolvendo as seguintes situações: áreas de protecção de fundos de vales, áreas de protecção de topos de morros e áreas de protecção de encostas.

- **Áreas de Ocupação Orientada**

- i) **Área de Ocupação Orientada UM** – áreas urbanizadas situadas sobre a zona de influência directa do Karst, devendo ser objecto de tratamento especial quanto à dotação de infra-estrutura representada por rede de esgoto, secundada por rede de drenagem e pavimentação viária, além de medidas urbanísticas voltadas para o controlo do nível de adensamento e percentuais de permeabilidade dos lotes, de acordo com as seguintes prioridades:

- *Prioridade 1* - áreas urbanizadas sobre terrenos com ocorrência simultânea de “polje” e solo de aluvião;
- *Prioridade 2* – áreas urbanizadas sobre terrenos com ocorrência isolada de “polje” ou de solo de aluvião;
- *Prioridade 3* – áreas urbanizadas sem ocorrência de “polje” nem solo de aluvião.

- ii) **Área de Ocupação Orientada DOIS** – áreas urbanizadas situadas sobre a zona de influência indirecta do Karst, cujas características físicas impõem restrições ao uso do solo no que se refere ao escoamento superficial, uma vez que, pela sua impermeabilidade relativamente elevada, acabam alimentando indirectamente os mananciais cársticos no subsolo, motivo pelo qual devem receber prioritariamente investimentos em redes de drenagem e pavimentação viária. Quanto à execução da rede de colecta e depuração de esgotos, estas áreas podem considerar-se de *Prioridade 4*, em relação às áreas classificadas como Áreas de Ocupação Orientada UM.

- **Áreas de Expansão Urbana**

- i) **Áreas Urbanas Fora da Região do Karst** – áreas que, apesar de declaradas urbanas por leis de perímetros urbanos, não se encontram loteadas nem ocupadas, constituindo espaços preferenciais para a expansão das áreas urbanizadas, podendo ser ocupadas livres de restrições quanto à preservação do manancial Karst;

- ii) Áreas Urbanas sobre Zonas de Influência Indirecta do Karst – áreas que, apesar de declaradas urbanas por leis de perímetros urbanos, não se encontram loteadas nem ocupadas e para as quais as restrições serão idênticas às estabelecidas para a *Área de Ocupação Orientada DOIS*, pelo que a sua individualização resulta apenas da menor prioridade das intervenções a efectuar, uma vez que a pressão da ocupação será naturalmente superior nas zonas já urbanizadas;
- iii) Áreas Urbanas sobre Zonas de Influência Directa do Karst – áreas que, apesar de declaradas urbanas por leis de perímetros urbanos, não se encontram loteadas nem ocupadas, pelo que deverão, em princípio, ser revertidas do uso urbano para o rural;
- iv) Áreas Rurais Externas à Área do Karst – áreas em situação similar às contidas em perímetro urbano fora da área do Karst, mas que pelo facto de não estarem contempladas em lei de perímetro urbano, poderiam constituir reserva de expansão urbana, sem restrições quanto à preservação qualitativa do aquífero;
- v) Áreas Rurais sobre Zonas de Influência Indirecta do Karst – áreas que, apesar de não estarem incluídas em perímetros urbanos, se encontram próximas de zonas urbanizadas, podendo ser ocupadas com poucas restrições e usufruir da vantagem decorrente da existência de infra-estruturas já instaladas na sua vizinhança;
- vi) Áreas Rurais sobre Zonas de Influência Directa do Karst – áreas que apenas excepcionalmente seriam destinadas a uso urbano, nomeadamente na impossibilidade de encontrar espaços suficientes para expansão noutras zonas ou no interesse de preencher vazios entre ocupações fragmentadas de modo a conferir-lhes a necessária coesão estrutural e a continuidade das redes de infra-estruturas. No Plano não foram, contudo, estabelecidas áreas com tais características;
- vii) Corredor Especial de Comércio e Serviços – áreas que compreendem trechos de rodovias destinados à localização de actividades comerciais e de prestação de serviços, em particular os vinculados ao transporte rodoviário.

Apresenta-se a seguir, a título de exemplo, a proposta de macrozoneamento na região de Almirante Tamandaré (Figura 8).



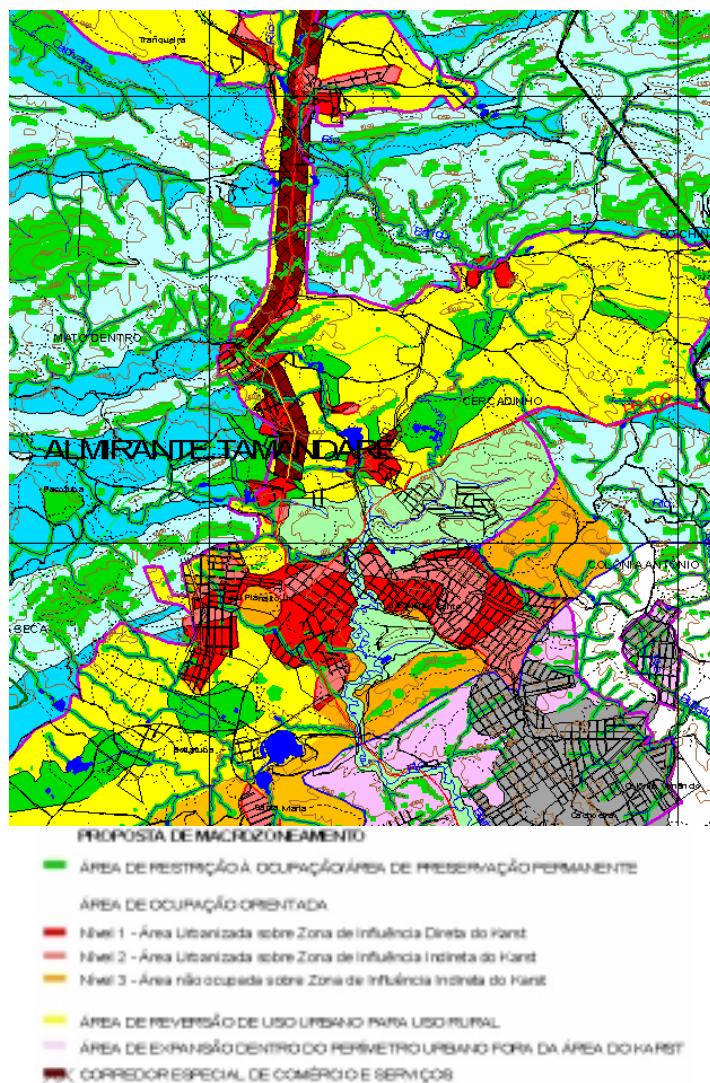


Figura 8 Proposta de Macrozoneamento na Região de Almirante Tamandaré

No âmbito do Plano de Zoneamento foram ainda estabelecidos os condicionamentos a respeitar por determinados serviços urbanos de carácter pontual, nomeadamente, *postos de abastecimento e serviços, hospitais, vazadouros de lixo e cemitérios*.

No macrozoneamento para as áreas rurais, foram estabelecidas *Áreas de Restrição à Ocupação*, que deverão permanecer livres de ocupação (fundos de vales, topos de morros, florestas, grutas e dolinas) e *Áreas Rurais de Exploração Económica*, sujeitas a diversos níveis de manejo, para efeitos de preservação dos recursos naturais (*manejo intensivo*, nas zonas de influência indirecta do Karst, *manejo extensivo*, nas zonas de influência directa do Karst, *manejo restrito*, nas zonas constituídas por "poljes", *de manejo florestal, de exploração mineira e de interesse para o turismo*).

## AGRADECIMENTOS

A revisão da geologia da região foi resultado dos trabalhos do Professor Mauro Monastier da Universidade Federal do Paraná e das contribuições dos geólogos Rogério Felipe e Oscar Salazar Jr, da Mineropar – Minerais do Paraná S.A., que também prestaram o apoio desinteressado nos temas relacionados com Materiais Inconsolidados, Características Geotécnicas da Região e inúmeros detalhes do sistema de informação geográfica.

Em relação à Hidrogeologia foi fundamental a participação do geólogo José Martins Carvalho, a quem se devem alguns dos novos conceitos introduzidos no estudo hidrogeológico do Karst, sendo também de

destacar as contribuições do geólogo Álvaro Lisboa, da SUDERHSA, grande entusiasta da hidrogeologia do Karst e incansável proponente do conceito de compartimentação do aquífero, cujo recente falecimento prematuro se lamenta profundamente.

Ao Professor Luiz Eduardo Mantovani da Universidade Federal do Paraná deve-se não só uma nova visão da Geomorfologia da região, como também o constante apoio a outras fases dos trabalhos, essenciais para o sucesso do projecto. Os professores Carlos Roderjan e Everton Passos, ambos da Universidade Federal do Paraná, desenvolveram os estudos relacionados com a Cobertura Vegetal e Aptidão Agrícola do Solo, respectivamente.

A arquitecta urbanista Beatriz Romagnoli coordenou e foi responsável pelos temas relacionados com a ocupação antrópica do Karst. O economista Wilhem Meiners apoiou esta fase dos estudos com uma análise dos aspectos fundamentais da economia da região do Karst. Ao Dr. Ruy Correia Feuerschuetz ficou-se devendo o exaustivo estudo da Legislação Ambiental e Arcabouço Institucional que embasou a Proposta de Macrozoneamento do projecto.

Não pode deixar de se referir o apoio dos órgãos do Governo do Estado do Paraná, em particular da SANEPAR, na pessoa do engenheiro Arlineu Ribas, da Secção de Hidrogeologia, e da SUDERHSA, na pessoa do geólogo Everton Souza.

Finalmente desejamos agradecer à Directoria da COMEC, que sempre acompanhou e apoiou o projecto, facultando todos os dados existentes nos arquivos da instituição.

## **BIBLIOGRAFIA**

COMEC – Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba – Plano de Uso e Ocupação do Solo da Área de interesse do Karst no município de Colombo, (minuta), 2000

LISBOA, A. A. & BONACIM, E. A. – “Sistema aquífero cárstico – reservatório elevado da região metropolitana de Curitiba”. Sanare, 4, 1995, pp. 26 – 30.

SILVA, P.C.S. – “Folhas SG.22-X-D-I, Escala 1/100 000”, in Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Curitiba, Estado de São Paulo, CPRM, Brasília 1999

SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente – Banco de Dados de Poços, Curitiba, 2002

## VARIABILIDADE ESPACIAL DOS PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS DE UM SOLO ALUVIAL DO NORDESTE DO BRASIL

Eduardo Soares de Souza<sup>3</sup>, Antonio Celso Dantas Antonino<sup>4</sup>, Rafael Angulo-Jaramillo<sup>5</sup>, André Maciel Netto<sup>2</sup>, Suzana Maria Gico de Lima Montenegro<sup>6</sup>, Edvane Borges<sup>7</sup>

### RESUMO

A caracterização hidrodinâmica de solos é fundamental para a gestão dos recursos hídricos no Nordeste do Brasil. Analisou-se a variabilidade espacial dos parâmetros hidrodinâmicos de um solo aluvial, obtidos pelo método "Beerkan". Para tal, dados experimentais de infiltração, realizados com infiltrômetro de anel simples, foram utilizados. Os dados experimentais foram coletados em uma malha de 80 pontos equidistantes (25 x 25m). Para a representação das características hidrodinâmicas, foram determinados os seguintes parâmetros: parâmetros de forma das curvas de retenção da água do solo ( $m$ ,  $n$ ) e da condutividade hidráulica ( $\eta$ ), dependentes da textura do solo e relacionados com a curva de distribuição dos tamanhos das partículas; e os parâmetros de normalização ( $\theta_s$ ,  $K_s$ ,  $h_g$ ), dependentes da estrutura do solo. Os intervalos de confiança dos parâmetros dependentes da textura do solo ( $m$ ,  $n$  e  $\eta$ ), foram 0,065 – 0,078; 2,138 – 2,169 e 10,99 – 11,94, respectivamente, com 90% de probabilidade. Enquanto que para os parâmetros dependentes da estrutura ( $\theta_s$ ,  $K_s$ ,  $h_g$ ) os intervalos foram 0,376 – 0,401 cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>; 0,027 – 0,064 mm.s<sup>-1</sup> e -43,45 – -296,79 mm. Nas análises dos semivariogramas experimentais de todos os parâmetros estudados, observou-se que não existe dependência espacial.

### ABSTRACT

The hydrodynamic characterization of soils is very important for water resources management in the Northeast of Brazil. The spatial variability of the hydrodynamic parameters of an alluvial soil were analyzed. They were obtained by the "Beerkan" method. Field infiltration data and cumulative particle size distributions were collected in a 25 x 25 m grid (80 points). Using the data, the shape parameters of the water retention curve ( $m$ ,  $n$ ) and the conductivity curve ( $\eta$ ), as well as the normalization parameters  $K_s$ ,  $\theta_s$  and  $h_g$ , were estimated. Mean values of the parameters  $m$ ,  $n$ ,  $\eta$  do not vary significantly and have a 90% probability of being found between 0.06 – 0.07; 2.14 – 2.19 e 10.99 – 12.11, respectively. Mean values of the parameters  $\theta_s$ ,  $K_s$ ,  $h_g$  have 90% probability to be found between 0.376 – 0.401 cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>; 0.027 – 0.064 mm.s<sup>-1</sup> e -43.45 – -296.79 mm. An analysis of semivariograms shows that the parameters do not exhibit spatial dependence.

**Palavras-chave:** Variabilidade espacial, parâmetros hidrodinâmicos, parâmetros de normalização.

---

<sup>3</sup> Doutorando Depto de Energia Nuclear, UFPE, Av. Prof. Luís Freire 1000. Recife, PE. CEP 50740-540. Fone (81)- 3271-8252. Fax (81)- 32718250. E-mail: [edssza@bol.com.br](mailto:edssza@bol.com.br).

<sup>4</sup> Professor Doutor do Depto. de Energia Nuclear, UFPE, E-mail: [acda@ufpe.br](mailto:acda@ufpe.br).

<sup>5</sup> Pesquisador do CNRS, LTHE (UMR 5564 CNRS, INPG, IRD, UJF), BP 53, 38041 Grenoble cedex nove, França. E-mail: [angulo@hmg.inpg.fr](mailto:angulo@hmg.inpg.fr).

<sup>6</sup> Professora Doutora do Depto de Eng. Civil, UFPE. E-mail: [suzana@ufpe.br](mailto:suzana@ufpe.br).

<sup>7</sup> Pos-doutoranda, bolsista CNPq. E-mail: [edvborges@yahoo.com](mailto:edvborges@yahoo.com).

## INTRODUÇÃO

A dinâmica e os mecanismos de escoamentos de água em solos não saturados é de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos no Nordeste do Brasil. Poucos são os estudos, nesta região, que dizem respeito à caracterização dos principais parâmetros hídricos ou ao desenvolvimento de modelos apropriados às condições hidrodinâmicas locais.

Teorias e modelos matemáticos para descrever com propriedade o movimento da água no solo têm sido desenvolvidos (Haverkamp et al, 1998a). Além disso, os trabalhos experimentais buscam medir os parâmetros do solo e os fenômenos de fluxo de modo mais preciso e seguro. Para descrever ou prever os processos da dinâmica da água e de sais no solo em condição de campo (em processos de irrigação, drenagem, conservação de água, recarga e contaminação do lençol freático, e infiltração e escoamento superficial) é necessário conhecer as características hidráulicas do solo, incluindo a relação funcional entre a condutividade hidráulica e o potencial matricial, e a umidade do solo (Hillel, 1998).

Normalmente, para fazer inferências do valor verdadeiro de uma propriedade do solo no campo, é necessário coletar um grande número de informações. No caso da caracterização hidrodinâmica dos solos, isso implica em ensaios de campo e de laboratório bastante dispendiosos, pois oneram e demandam um tempo longo de execução dos experimentos. O custo efetivo dessas determinações levou alguns pesquisadores a utilizarem métodos indiretos que se baseiam em dados do solo prontamente disponíveis, usuais e de baixo custo (Wagner et al., 1998; Wagner et al., 2001; Minasny et al, 1999; Minasny & McBratney, 2002). De acordo com Haverkamp et al. (1999a) os métodos de estimação podem ser classificados como: Métodos de regressão estatística e Métodos semifísicos.

Um método semifísico desenvolvido por Haverkamp et al, (1998a, b) propõe a estimativa dos parâmetros de forma da curva de retenção de água a partir das propriedades texturais do solo. Nesse método, a curva de retenção de água e a curva de condutividade hidráulica dos solos podem ser descritas analiticamente por cinco parâmetros: dois de forma e três de normalização. Os dois parâmetros de forma dependem principalmente das propriedades texturais como a distribuição dos tamanhos das partículas; enquanto que os parâmetros de normalização estão ligados às propriedades estruturais (massa específica do solo, porosidade).

De Condappa (2002) apresentou uma nova metodologia denominada “Beerkan”, que permite descrever o fluxo de infiltração, e de determinar os parâmetros hidrodinâmicos do solo independentemente da escala de estudo. Essa metodologia utiliza a invariância da equação de infiltração e foi desenvolvida na ótica de ser robusta, rápida e de fácil de utilização.

O objetivo deste trabalho foi analisar a variabilidade espacial dos parâmetros hidrodinâmicos de um solo aluvial do Nordeste do Brasil, obtidos por intermédio do método “Beerkan”.

## TEORIA

### Características hidrodinâmicas

As características hidrodinâmicas do solo são representadas pela curva de retenção da água do solo,  $\theta(h)$ , e pela curva de condutividade hidráulica,  $K(\theta)$ . Dentre os modelos propostos para descrever  $\theta(h)$  e  $K(\theta)$  são apresentados:

Van Genuchten (1980)

$$\frac{\theta}{\theta_s} = \left[ 1 + \left( \frac{h}{h_g} \right)^n \right]^{-m} \quad \text{com } m = 1 - \frac{2}{n} \quad (\text{Burdine, 1953})$$

(1)

sendo  $\theta$  a umidade volumétrica;  $\theta_s$  a umidade volumétrica na saturação;  $h$  o potencial matricial e  $h_g$  o parâmetro determinado a partir do ajuste da funcional aos dados experimentais de  $\theta$  e  $h$ ;  $n$  e  $m$  são parâmetros de forma. O  $h_g$  é um valor crítico de  $h$  a partir do qual ocorre a dessaturação, conhecido como potencial de entrada de ar.

Brooks & Corey (1964)

$$K(\theta) = K_s \left( \frac{\theta}{\theta_s} \right)^\eta$$

(2)

em que  $K_s$  é a condutividade hidráulica saturada do solo e  $\eta$  é o parâmetro de forma para a curva de condutividade hidráulica.

A representação das características hidrodinâmicas do solo faz uso de cinco parâmetros. Dois parâmetros dão a forma das curvas: o parâmetro de forma para a curva de retenção é dado pelo produto  $mn$  e para a curva de condutividade hidráulica por  $\eta$ . Haverkamp et al, (1998a) mostraram que os parâmetros de forma para a curva de retenção e de condutividade hidráulica são parâmetros dependentes da textura do solo e estão relacionados com a curva de distribuição dos tamanhos das partículas.

Os outros três parâmetros, de normalização,  $\theta_s$ ,  $K_s$  e  $h_g$  são principalmente dependentes da estrutura do solo. Zammit (1999) mostrou, no entanto, que estes parâmetros não eram independentes e que o produto  $\theta_s h_g$  era constante para um dado solo. Dessa forma, as propriedades hidrodinâmicas do solo podem ser representadas por dois parâmetros estruturais independentes.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado numa área de aproximadamente quatro hectares da Fazenda Várzea Grande, localizada no município de São João do Cariri (7°23'27" S e 36°31'58" O). O solo da parcela é classificado como Aluvial.

Neste trabalho analisou-se a variabilidade espacial dos parâmetros de  $h(\theta)$  de van Genuchten (1980) e  $K(\theta)$  de Brooks & Corey (1964) de : i) forma ( $m$  e  $n$ ,  $\eta$ ) dependente da textura do solo e relacionados com a curva de distribuição dos tamanhos das partículas; e ii) normalização ( $\theta_s$ ,  $h_g$ ,  $K_s$ ) dependentes da estrutura do solo. Eles foram determinados por intermédio do método "Beerkan". Para isso, foram realizados simples ensaios de infiltração tridimensional sob carga positiva  $h_{sup}$ , com um único anel de raio  $r$  (75 mm) e coletas de amostras de solos para a construção da curva granulométrica em 80 pontos equidistantes (25 x 25m). A análise granulométrica foi realizada usando-se o método da ABNT (1984), o qual permite determinar o diâmetro das partículas mais finas (argila e silte) por sedimentação e as mais grosseiras (areia) por peneiramento.

### Método "Beerkan"

O método Beerkan consiste basicamente em determinar os parâmetros de : i) forma ( $mn$ ,  $\eta$ ) a partir da curva de distribuição dos tamanhos das partículas; e ii) normalização ( $\theta_s$ ,  $h_g$ ,  $K_s$ ) a partir da evolução da infiltração tridimensional acumulada em função do tempo  $I(t)$ .

Os parâmetros de forma ( $mn$ ,  $\eta$ ) são obtidos a partir do ajuste da equação da distribuição de frequência acumulada como uma função do diâmetro das partículas,  $F(d)$ , aos dados experimentais da curva de distribuição dos tamanhos das partículas, expressa por (Haverkamp et al., 2001):

$$F(d) = \left[ 1 + \left( \frac{d_g}{d} \right)^N \right]^{-M} \quad \text{com} \quad M = 1 - \frac{2}{N}$$

(3)

sendo  $d$  o diâmetro da partícula,  $d_g$  o parâmetro de escala do tamanho das partículas e  $M$  e  $N$  os parâmetros de forma da curva de distribuição do tamanho das partículas.

Fuentes (1984) fazendo uso da geometria fractal relacionou os parâmetros de forma ( $mn$ ,  $\eta$ ) a  $M$  e  $N$ . O parâmetro de forma  $\lambda$  de  $h(\theta)$  para Brooks & Corey (1964), pode ser obtido por:

$$\lambda = \frac{2M}{1-M} \cdot \left[ 1 + \frac{2s-1}{2s(1-s)} \right]^{-1} \quad \text{com } s = D/E \quad 3/2 < D < 3$$

(4)

sendo D a dimensão fractal do solo e E a dimensão euclidiana, para os solos E = 3.

Considerando  $\lambda = mn$ , pode-se calcular os valores de  $m$  e  $n$  para  $h(\theta)$  de van Genuchten (1980) como se segue:

$$m = \frac{\lambda}{2 + \lambda}$$

(5)

$$n = \frac{2}{1 - m}$$

(6)

Para o parâmetro de forma  $\eta$  da função  $K(\theta)$  de Brooks & Corey (1964), Fuentes (1984) propôs a seguinte relação:

$$\eta = 2s \cdot \left[ \frac{2}{\lambda} + 1 \right]$$

(7)

Fuentes et al. (2001), apresentaram a seguinte expressão para relacionar a dimensão fractal com a porosidade:

$$(1 + \phi)^s + \phi^{2s} = 1 \quad \text{com} \quad \frac{1}{2} < s < 1$$

(8)

sendo  $\phi$  a porosidade do solo.

Os parâmetros de normalização ( $h_g$ ,  $K_s$ ) são obtidos pela minimização de  $F(K_s, h_g)$ , ou seja, da soma dos quadrados das diferenças entre os tempos calculados e observados.

$$F(K_s, h_g) = \sum_{i=1}^{N_{obs}} (t_i(K_s, h_g) - t_i)^2$$

(9)

sendo  $N_{obs}$  o número de observações e  $t_i(K_s, h_g)$  o tempo calculado, para o ponto de observação  $(I_{1i}, t_i)$ , usando a equação adimensional proposta por Haverkamp et al. (1998a) dada por :

$$t_i(K_s, h_g) = \frac{\Delta I_3}{K_s(1-a)} - \frac{\alpha_1(K_s, h_g)}{K_s(1-a)} \left( 1 - \exp \left[ - \frac{\Delta I_3}{\alpha_1(K_s, h_g)} \right] \right)$$

(10)

com,

$$\alpha_1 = \frac{K_s}{K_s - K_0} (\theta_s - \theta_0) h_{sup} - \frac{c_p}{2} h_g (\theta_s - \theta_0)$$

(11)

$$\Delta I_3 = I_3 - K_0 t - \delta t$$

(12)

$$\delta = \frac{\phi[2 \cdot K_s \cdot h_{sup} - K_s(1-a)c_p h_g]}{r} \quad (13)$$

sendo  $c_p$  um parâmetro dependente da textura, cujo valor depende do modelo de retenção.

Para resolver a equação (9), são necessárias informações adicionais da condição inicial e de fronteira, ou seja, o conhecimento da carga hidráulica imposta  $h_{sup}$  e da umidade volumétrica inicial  $\theta_0$ , como também do terceiro parâmetro de normalização  $\theta_s$ . A condição de limite de superfície  $h_{sup}$  foi estimada a partir do volume infiltrado  $V(\text{cm}^3)$  e do raio do cilindro  $r(\text{mm})$ , mas um valor de  $h_{sup} = 0$  pode ser utilizado sem influenciar nos resultados. As umidades volumétricas no início  $\theta_0 (\text{cm}^3.\text{cm}^{-3})$  e no final do ensaio de infiltração  $\theta_s (\text{cm}^3.\text{cm}^{-3})$  foram obtidas medindo, respectivamente, as umidades gravimétrica inicial e final e depois multiplicando os resultados pela massa específica do solo  $\rho_d (\text{g}.\text{cm}^{-3})$ .

A condutividade hidráulica inicial  $K_0$  foi considerada por intermédio da equação de Brooks & Corey (1964) (Equação 2) em função de  $\theta_0$ ,  $\theta_s$ ,  $\eta$  e  $K_s$ .

A equação (9) foi resolvida usando o algoritmo de Marquardt (1963), fornecendo valores iniciais para o conjunto de parâmetros ( $K_s$ ,  $h_g$ ).

### Análise estatística

As análises estatísticas devem ser realizadas de acordo com a distribuição teórica que melhor represente a distribuição amostral, de tal modo que a partir desta, possam ser realizadas inferências em relação à distribuição verdadeira.

A mais importante distribuição teórica contínua de probabilidade é a *Distribuição Normal*, chamada também de curva normal ou distribuição de Gauss. A função que descreve a forma da curva é expressa por:

$$F(X) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(X-\mu_X)^2}{2\sigma_X^2}} \quad (14)$$

sendo  $\mu_X$  a média e  $\sigma_X$  o desvio padrão.

Para uma distribuição verdadeira com distribuição de frequência normal, os melhores indicadores são a *média aritmética*, a *variância*, o *desvio padrão*, o *erro padrão da média* e o *coeficiente de variação* dos valores obtidos na amostragem.

A partir desses indicadores e para uma probabilidade pré-estabelecida, pode-se calcular os *limites de confiança* ( $IC_{DN}$ ), e assim, avaliar o grau de segurança da amostragem e o risco ou incerteza associada ao valor médio estimado:

$$IC_{DN} = \bar{X} \pm 1,96 \cdot \frac{\sigma_X}{\sqrt{j}} \quad \text{para uma probabilidade de 95\%} \quad (15)$$

sendo  $\sigma_X/\sqrt{j}$  o erro padrão da média,  $\bar{X}$  o valor médio obtido pela amostragem ( $j > 25$ ).

Quando os valores observados ( $X$ ) não apresentam uma distribuição simétrica, é possível trabalhar com a *Distribuição Lognormal*. Essa distribuição caracteriza-se pelo fato de que os logaritmos dos valores observados obedecem a uma distribuição normal. Para este caso, os estimadores da população verdadeira são avaliados a partir das estatísticas das amostras através da *média geométrica*, da *variância* e do *desvio padrão dos logaritmos das amostras*.

O cálculo do limite de confiança, neste caso, é baseado nos procedimentos desenvolvidos por Sichel (1966) e recalculados e expandido por Wainstein (1975).



$$IC_{LN} = \bar{X}_a \cdot \psi_p(\sigma_Y^2, j)$$

(16)

sendo  $\psi_p(\sigma_Y^2, j)$  um fator que depende da probabilidade ( $0,05 < p < 0,95$ ) desejada da variância dos logaritmos  $\sigma_Y^2$  e do número de amostras  $j$ . Este fator é encontrado nas tabelas de probabilidades proposta por Rendu (1981). Enquanto que  $\bar{X}_a$  é a média aritmética e é calculada pela seguinte expressão (Sichel, 1966):

$$\bar{X}_a = \bar{m} \cdot \gamma_j(\sigma_Y^2)$$

(17)

sendo  $\bar{m}$  a média geométrica de  $\ln(X_i)$  e  $\gamma_j(\sigma_Y^2)$  é um fator que depende do número de amostras  $j$  e da variância  $\sigma_Y^2$  (Rendu, 1981).

### Teste de Distribuição

Para escolher qual a distribuição teórica (Normal e Lognormal) que melhor representa a distribuição observada, aplica-se o teste de Kolmogorov-Smirnov, com níveis de significância de 1 e 5%. Ele testa se duas amostras provêm da mesma população. Para isso, calcula-se a diferença absoluta entre a frequência acumulada observada  $F(0)$  e a frequência acumulada teórica  $F(t)$ . Se  $|F(0) - F(t)|_i > D$ , rejeita-se a hipótese. Caso contrário, se  $|F(0) - F(t)|_i < D$  (i classe acumulada), aceita-se a hipótese.

O valor  $D$  (para  $j > 50$ ) é calculado a partir de  $D = 1,36\sqrt{j}$  (ao nível de significância de 5%) e  $D = 1,63\sqrt{j}$  (ao nível de significância de 1%).

### Análise Geoestatística

Como primeiro passo para verificar uma possível existência de dependência espacial dos parâmetros estudados, empregou-se a análise geoestatística por meio do semivariograma a partir da seguinte equação (Vieira et al., 1983):

$$\gamma(L) = \frac{1}{2N(L)} \cdot \sum_{i=1}^{N(L)} [Z(x_i) - Z(x_i + L)]^2$$

(18)

onde  $N(L)$  representa o número de pares de valores medidos  $[Z(x_i), Z(x_i + L)]$  separados por um vetor  $L$ . Para o estudo em questão, os valores de  $Z$  podem ser qualquer uma das propriedades estudadas, a condutividade hidráulica por exemplo, enquanto os valores de  $x_i$  e  $x_i + L$  são definidos de acordo com a posição das medidas no campo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Propriedades físico-hídrica ( $\rho_d, \theta_0$ )

A partir das amostras coletadas nos 80 pontos na parcela, foram encontradas as seguintes classes texturais: franco (2,50%), franco argilo arenoso (28,75%), franco arenoso (48,75%), areia franca (11,25%) e areia (8,75%). As formas das curvas granulométricas para cada classe textural são apresentadas na Figura 1.

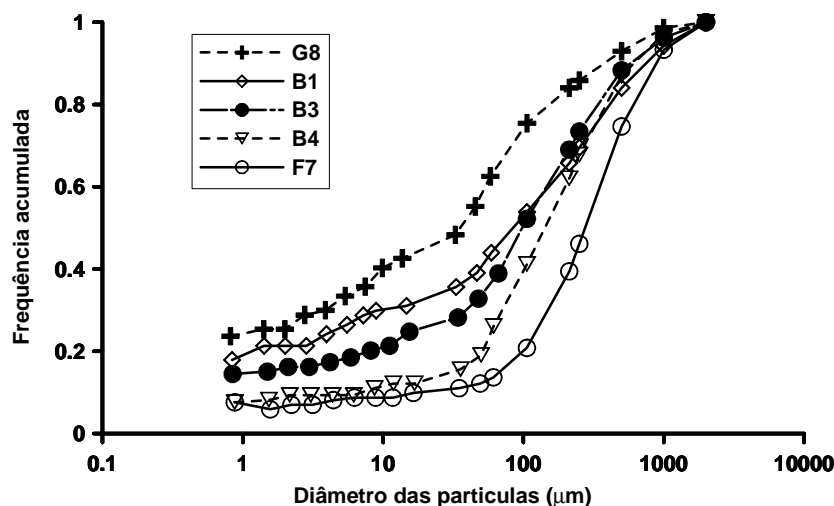


Figura 1. Curvas granulométricas dos solos para as seguintes classes texturais: franco argiloso (G8), franco argilo arenoso (B1), franco arenoso (B3), areia franca (B4) e areia (F7).

Para os valores de  $\rho_d$ , a distribuição teórica normal (equação 14) foi a que melhor representou a distribuição observada. De acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov, não houve diferenças estatísticas aos níveis de 1 e 5% de significância, ou seja,  $|F(0) - F(t)|_i < D$  (Tabelas 1). Das análises dos semivariogramas experimentais (equação 18) de  $\rho_d$ , Figura 2, observa-se que não existe dependência espacial, uma vez que os valores de  $\gamma(L)$  se encontram em torno da variância da população. A distância mínima de amostragem não permitiu uma precisão adequada na estimativa do efeito pepita. Os seus valores médios têm 95% de probabilidade (equação 15) de se encontrar entre: 1,491 - 1,560 g.cm<sup>-3</sup>.

Tabela 1. Análise estatística das propriedades e dos parâmetros que apresentaram distribuição normal.

	Média	$\sigma_x$	$\sigma_x^2$	$\sigma_x/\sqrt{n}$	C, V,	$ F(0) - F(t) _i$	$D_{KS} (0,05)$	$D_{KS} (0,01)$
$\rho_d$ (g.cm <sup>-3</sup> )	1,53	0,16	0,025	0,018	10,4	0,051	0,152	0,182
$\theta_s$ (cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup> )	0,388	0,057	0,0035	0,006	14,5	0,070	0,152	0,182
$\eta$	11,470	2,163	4,680	0,242	18,9	0,081	0,152	0,182

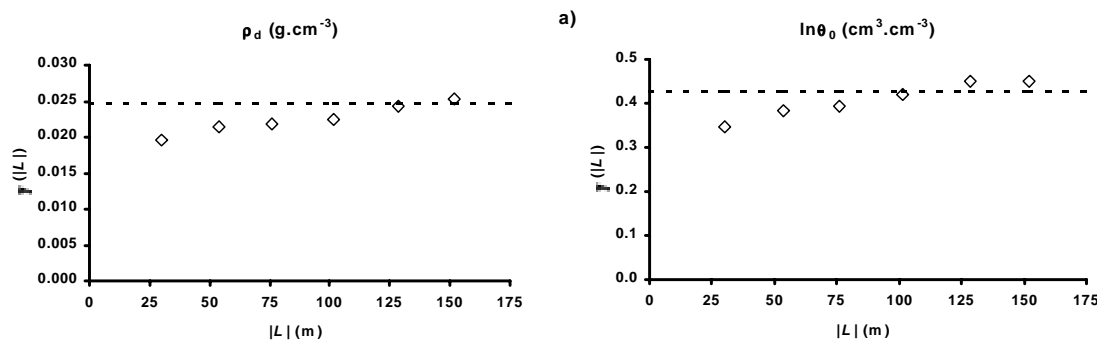


Figura 2. Semivariogramas das propriedades físico-hídricas.

Para os valores da umidade volumétrica inicial  $\theta_0$ , a distribuição observada dos logaritmos dos valores obedece a uma distribuição normal. De acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov (Tabela 2), não houve diferença estatística nos níveis de 1 e 5% de significância entre a frequência acumulada observada  $F(0)$  e a frequência acumulada teórica  $F(t)$ . Os semivariogramas experimentais de  $\ln\theta_0$  apresentaram o mesmo

comportamento observado para a massa específica do solo, ou seja, demonstraram que não existe uma dependência espacial (Figura 2b). E de acordo com a equação 16, os seus valores médios se encontram entre: 0,058 – 0,079 cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>, com 90% de probabilidade.

Tabela 2. Análise estatística das propriedades e dos parâmetros que apresentaram distribuição lognormal.

n	$\mu_y$	$\bar{m} = e^{\mu_y}$	$\sigma_y$	$\sigma_y^2$	$\gamma_j(\sigma_y^2)$	$\Psi_P(\sigma_y^2, j)$		$ F(0)-F(t) _i$	<b>D<sub>KS</sub></b> (0,05)	<b>D<sub>KS</sub></b> (0,01)
						0,05	0,95			
<b>ln <math>\theta_0</math></b>	-2,96	0,05	0,71	0,50	1,281	0,871	1,189	0,075	0,152	0,182
<b>ln <math>K_s</math></b>	-4,392	0,012	1,517	2,302	3,107	0,694	1,673	0,083	0,152	0,182
<b>ln  hg </b>	3,792	44,356	1,630	2,657	3,687	0,663	1,815	0,048	0,155	0,186
<b>ln mn</b>	-1,581	0,206	0,362	0,131	0,755	0,890	1,087	0,127	0,152	0,182

### Parâmetros de forma ( $mn$ e $\eta$ )

Os valores dos parâmetros de forma da curva de retenção ( $mn$ ) se aproximam de uma *Distribuição Lognormal*. Os limites de confiança obtidos pela equação 16, demonstraram que o produto  $mn$  tem 90% de probabilidade de se encontrarem entre 0,138 – 0,154. A partir das equações 5 e 6 foram obtidos os intervalos para  $m$  (0,065 – 0,079) e para  $n$  (2,138 – 2,169). Os semivariogramas para  $\ln(mn)$  (Figura 3a) também não apresentam existência de dependência espacial.

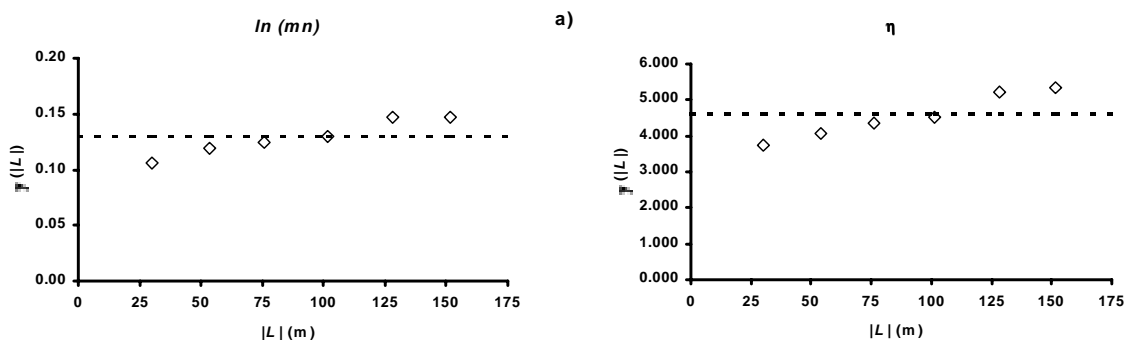


Figura 3. Semivariogramas experimentais dos parâmetros de forma das curvas: a) de retenção e b) de condutividade hidráulica.

O parâmetro da curva de condutividade hidráulica ( $\eta$ ) apresentou-se normalmente distribuído de acordo com os teste de distribuição (Tabela 1). As análises estatísticas desse parâmetro não apresentaram grandes variações. Os seus valores médios representativos (equação 15) estão compreendidos entre  $10,996 < \eta < 11,944$ . Os semivariogramas desse parâmetro (Figura 3b) foram crescentes ultrapassando a variância da população.

### Parâmetros de normalização ( $\theta_s$ , $K_s$ , $h_g$ )

A umidade volumétrica na saturação  $\theta_s$ , pode-se dizer, possui efeito pepita puro. Os valores de  $\gamma(L)$  para  $\theta_s$  se encontram em torno da variância da população para todos os  $L$ . Esse parâmetro apresentou uma distribuição normal de acordo com o teste Komolgorov-Smirnov, Tabela 1, e seus intervalos de confiança (equação 15) se encontram entre 0,376 – 0,401 cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup> com 90% de probabilidade.

Os valores da condutividade hidráulica na saturação,  $K_s$  (mm.s<sup>-1</sup>), apresentaram uma distribuição *Lognormal* (Tabela 2) e de acordo com a equação 16, os valores de  $IL_{DN}$  foram 0,027 – 0,064 mm.s<sup>-1</sup> com 90% de

probabilidade. Na análise dos semivariogramas ( $\ln K_s$ ) os valores de  $\gamma(L)$  ficaram em torno da variância da população (Figura 4b).

Os valores absolutos dos  $h_g$ , também apresentaram uma distribuição *Lognormal*, porém, foi o que apresentou maior variação (Tabela 2). Os semivariogramas de  $\ln |h_g|$ , assim como todos os parâmetros analisados neste trabalho, também não apresentaram dependência espacial (Figura 4c).

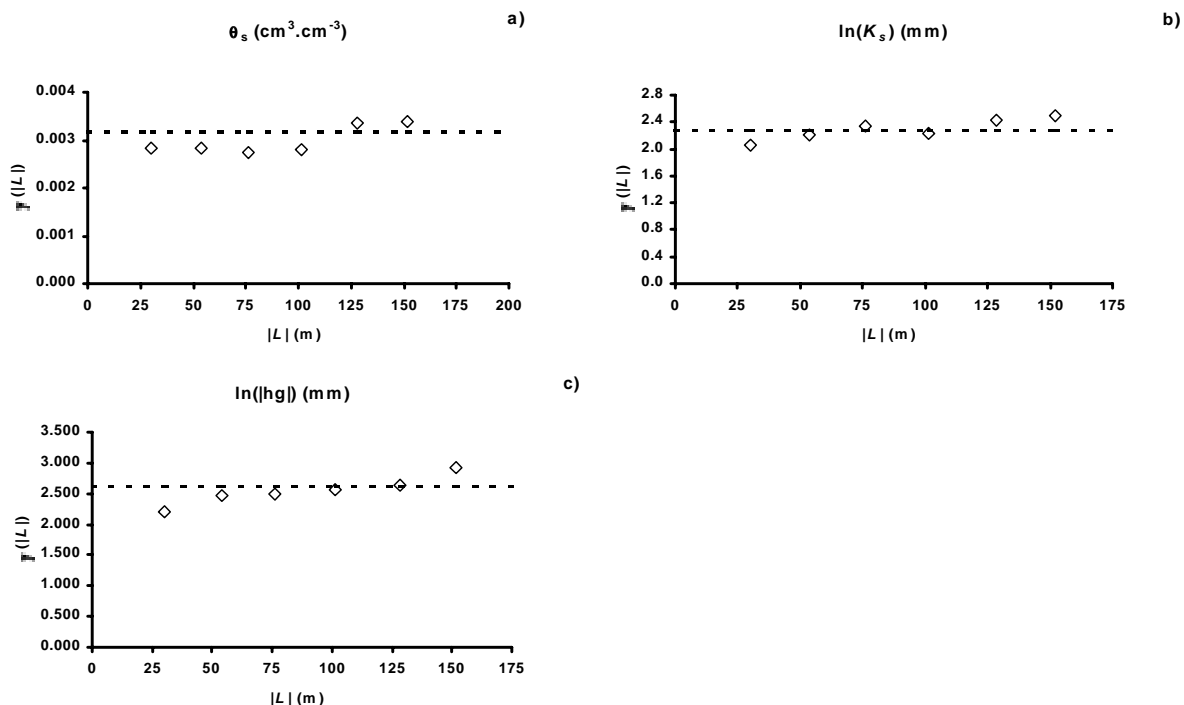


Figura 4. Semivariograma experimental dos parâmetros de normalização ( $\theta_s$ ,  $K_s$ ,  $h_g$ ) dependentes da estrutura do solo.

## CONCLUSÕES

- Os valores médios dos parâmetros  $mn$  e  $\eta$  não variaram significativamente e tem 90% de probabilidade de se encontrarem entre 0,065 – 0,078; 2,138 – 2,169 e 10,996 – 11,944, respectivamente.
- Os parâmetros relacionados a estrutura ( $\theta_s$ ,  $K_s$ ,  $h_g$ ) variaram de 0,376 – 0,401 cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>; 0,027 – 0,064 mm.s<sup>-1</sup> e -43,45 – -296,79 mm, respectivamente.
- A distância mínima de amostragem não permitiu uma estimativa do efeito pepita.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Análise granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. (ABNT NBR – 7181).
- AYRA, L. M., and PARIS, J. F. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data. **Soil Science Society America Journal**, v.45, p.1023 – 1030, 1981.

- BRASIL, Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e fertilidade do Solo. Divisão de Agrologia – SUDENE. Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro. 670p. 1972 (Boletim Técnico, 15).
- BRAUD, I., DE CONDAPPA, D., SORIA, J. M., GALLE, S., HAVERKAMP, R., REGGIANI, P., and VAUCLIN, M. Scaled Forms of the infiltration equation: Application to the estimation of the unsaturated soil hydraulic properties. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM SOIL STRUCTURE. WATER AND SOLUTE TRANSPORT, IRD, Bondy, 8 – 10 October 2001.
- BROOKS, R. H.; COREY, A. T. Hydraulic properties of porous media. **Hydrology Paper**, v.3, Colorado State Univ. Fort Collins, 1964.
- BURDINE, N. T. Relative permeability calculations from pore-size distribution data. **Petr. Trans., Am. Inst. Mining Metall. Eng.**, v.198, p.71 – 77, 1953.
- De Condappa, D., J. Soria, 2002. Méthode Beerkan. Caractérisation des propriétés hydrodynamiques des sols non saturés. Rapport interne HZNS-LTHE. 82 p.
- FUENTES, C., Approche fractale des transferts hydriques dans les sols non-saturés. (Thèse de doctorat). Université Joseph Fourier de Grenoble, France, 1984, 267pp.
- FUENTES, C., BRAMBILA, F., VAUCLIN, M., PARLANGE, J. -Y., HAVERKAMP, R. Modelación fractal de la conductividad hidráulica de los suelos no saturados. **Ingeniería hidráulica en México**, v.16, n.2, p.119-137, 2001.
- GUERRA, P. AL. G. **Geoestatística Operacional**. Brasília: Ministério das Minas e Energia – Departamento Nacional da Produção Mineral, 1988. 145p.
- HAVERKAMP, R. and PARLANGE, J. R. Predicting the water retention curve from particle size distribution: I Sandy soils without organic matter. **Soil Science**, v.142, p.325 – 335, 1986.
- HAVERKAMP, R.; ROSS, P.J.; SMETTEM, K.R.J.; PARLANGE, J.Y. Three dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer. 2. Physically based infiltration equation. **Water Resources Research**, v.30, p. 2931-2935, 1994.
- HAVERKAMP, R. ARUJÉ, J. L., VANDERVAERE, J. P. BRAUD, I., BOULET, G., LAURENT, J. P., TAHA, A., ROSS, P. J. and ANGULO-JARAMILLO, R. 1996: Hydrological and thermal behaviour of the vadose zone in the area of Barrax and Tomelloso (Spain): experimental study, analysis and modeling, Final integrated report EFEDA II Spain, Project UE nº EV5C – CT 92 00 90. 1996.
- HAVERKAMP, R., BOURAOUI, F., ANGULO-JARAMILLO, R., ZAMMIT, C. and DELLEUR, J. W. Soil properties and moisture movement in the unsaturated zone. *In*: DEULLEUR, J. W. (Ed.). **CRC Groundwater Engineering Handbook**, 120 p. 1998a.

- HAVERKAMP, R., PARLANGE, J. -Y., CUENCA, R., ROSS, P. J. and STEENHUIS, T. S. Scaling of the Richards equation and its applications to watershed modeling. *In: SCALE DEPENDENCE AND SCALE INVARIANCE IN HYDROLOGY CONDUCTIVITY FUNCTIONS*, LTHE, BP 53, 38041 Grenoble Cédex 9, France, 1998b.
- HAVERKAMP, R., J. R. NIMMO, and P. REGGIANI. Property – Transfer Models, In *Methods of Soil Analysis*, Jacob Dane Editor, (in press) 2001.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic press, 1998. 771p.
- MARQUARDT, D. W. Na algorithm for least squares estimation of non linear parameters. **J. Soc. Indust. Appl. Mater.**, v.2, p.431 – 441, 1963.
- MINASNY, B., MCBRATNEY, A. B., BRISTOW, K. L. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water-retention curves. **Geoderma**, v.93, p.225 – 253, 1999.
- MINASNY, B., MACBRATNEY, A. B. The efficiency of various approaches to obtaining estimates of soil hydraulic properties. **Geoderma**, v.107, p.55 – 70, 2002.
- RENDU, J. M. An introduction to geostatistical methods of mineral evaluation. South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, 1978, 83p.
- SICHEL, M. S. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. March 1966. OBS.
- van GENUCHTEN, M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, p.892-898, 1980.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em Estudos de Variabilidade Espacial do Solo. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ V., V. H., SCHAEFER, C. E. G. H. (Ed.) **TÓPICOS EM CIÊNCIA DO SOLO**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, cap. 1, p. 1 – 54.
- WAGNER, B., TARNAWSKI, V. R., HENNINGS, V., WESSOLEK, G., PLAGGE, R. Siutability of models for the estimation of soil hydraulic parameters. **Geoderma**, v. 86, p. 229 – 239, 1998.
- WAGNER, B., TARNAWSKI, V. R., HENNINGS, V., MULLER, U., WESSOLEK, G., PLAGGE, R. Evaluation of pedo-transfer functions for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. **Geoderma**, v.102, p.275 – 297, 2001.
- WAINSTEIN, B. M. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. April 1975.
- WARRICK, A.W.; BROADBRIDGE, P. Sorptivity and macroscopic capillary length relationships. **Water Resources Research**, v.28, p.427-431. 1992.
- WHITE, I.; SULLY, M.J. Macroscopic and microscopic capillary length and times scales from field infiltration. **Water Resources Research**, v.23, p.1514-1522, 1987.

- WÖSTEN, J. H. M. Pedotransfer functions to evaluate soil quality. In: Gregorich, E. G., CARTER, M. R. (Eds.), Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health. Developments in Soils Science, vol. 25, Elsevier, Amsterdam, pp. 221 – 245, 1997.
- WÖSTEN, J. H. M., LILLY, A., NEMES, A., LE BAS, C. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils. **Geoderma**, v.90, p.169 – 185, 1999.
- ZAMMIT, C. 1999. Analyse et evaluation des caractéristiques hydrodynamiques des sols. Prédiction par un modèle analytique à base physique à partir des dones texturales. (Thèse de Doctorat). Université Joseph Fourier, Grenoble I, 199pp.
- ZHANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disc infiltrometer. **Soil Science Society of American Journal**, v.61, p.1024 - 1030, 1997.



## MERCADO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA BACIA DO RIO PRETO NO DISTRITO FEDERAL

Paulo Roberto Soares Jr.<sup>1</sup>, Oscar de Moraes Cordeiro Netto<sup>1</sup> e Jorge Madeira Nogueira<sup>1</sup>

### Resumo

Este artigo apresenta resultados de uma avaliação sobre a viabilidade da implantação de um mercado de quotas comercializáveis de água na bacia hidrográfica do rio Preto no Distrito Federal. Baseadas na teoria econômica, as licenças negociáveis vêm sendo empregadas com sucesso em controle de poluição e na gestão de recursos naturais em diversos países. Para atingir o objetivo a que se propõe este trabalho, foi formulado um modelo de alocação de quotas de água para usuários interessados, com base na teoria associada às licenças sua aplicação prática em mercados de água. Esse modelo foi adaptado para a bacia do rio Preto e sua adequabilidade foi testada por meio de um questionário aplicado em entrevistas com produtores rurais irrigantes da região, potenciais participantes do mercado. As respostas aos questionários possibilitaram avaliar a pertinência do instrumento econômico proposto, as permissões negociáveis, e sua adequabilidade para a gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Preto no Distrito Federal.

### Abstract

This paper analyzes and evaluates the feasibility of a tradable water rights system in the Basin of Preto River in the Federal District, Brazil. This sort of system, called Water Market, is based on the theory of the Tradable Permits, an economical tool that has been successfully used in pollution control and natural resources management in several countries. In order to accomplish the goal previously described, a water allocation model has been formulated. It is supported by the economical theory on Tradable Permits and on its application to establish Water Markets. The Water Market framework, only theoretical at first, has been adapted to the basin's real conditions and simulated with farmers themselves. They were interviewed, and their reactions and comments on the model have made possible to evaluate the adequacy of the recommended economical instrument, the Tradable Permits, for water resources management in the Basin of Preto River in the Federal District.

**Palavras-chave:** Gestão Econômica de Recursos Hídricos, Mercado de Água para Irrigação, Rio Preto.

---

<sup>1</sup> Universidade de Brasília (UnB), Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos – PTARH. Campus Universitário Darcy Ribeiro, Edifício SG-12, PTARH Salas 10 e 11, Asa Norte, Brasília, DF, CEP: 70.910-900, Fone: (61) 307-1447, Fax: (61) 307-3065, E-mail: paulorsjunior@yahoo.com.br.

## 1. Introdução

Em vários países, tem sido verificado aumento na demanda por água nos últimos anos. Todavia, a exploração de novas fontes e mananciais de água se faz a custos cada vez mais elevados. Para atender essa demanda de forma economicamente viável, as autoridades responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos nesses países têm procurado adotar novos instrumentos de gestão com vistas a maximizar a eficiência na utilização de água e a incentivar também os usuários a promover a conservação dos recursos hídricos. Encarar a água como um recurso econômico é, de acordo com Dinar e Subramanian (1997), a chave para alcançar a alocação mais eficiente da água disponível, além de incentivar sua conservação.

Existem quatro tipos distintos de instrumentos econômicos que podem ser empregados em gestão de recursos naturais: (i) impostos e taxas; (ii) subsídios; (iii) depósitos reembolsáveis e (iv) licenças negociáveis. Dinar e Subramanian (1997) apresentam o argumento segundo o qual o emprego de direitos negociáveis propicia a alocação mais eficiente do recurso, no seu mais alto valor de uso. Cordeiro Netto *et al.* (2000) afirmam que, dentre esses instrumentos, as licenças ou permissões negociáveis têm sido identificadas como um mecanismo suscetível de ser aplicado aos casos de conflitos de uso e de poluição da água.

É exatamente em uma situação de conflito pelo uso da água que está inserida a área de estudo, a bacia hidrográfica do rio Preto, como mostra o mapa da figura 1. O rio Preto compõe a bacia do rio Paracatu, afluente do rio São Francisco, e constitui a divisa leste entre o Distrito Federal e o Estado de Goiás. Sua bacia abrange 1.778 km<sup>2</sup>, dos quais 1.313 km<sup>2</sup> estão no Distrito Federal (74%) e 465 km<sup>2</sup> estão no Estado de Goiás (26%). A maior parte da bacia hidrográfica no Estado de Goiás é utilizada pelo Exército Brasileiro como área de treinamento. A exploração econômica dessa bacia ocorre, praticamente, somente dentro do Distrito Federal, conforme o zoneamento proposto pelo Plano Diretor de Ordenamento Territorial – PDOT (IPDF, 1997). Tal exploração é quase que totalmente agrícola, com conseqüente uso intensivo dos recursos hídricos da área para irrigação (SADF, 1995).

Segundo Cordeiro Netto *et al.* (2000), são verificadas, na área, diversas situações de conflito de uso de água, particularmente entre irrigantes. O uso de instrumentos econômicos, em especial as licenças negociáveis, apresenta-se, então, como uma ferramenta passível de ser utilizada para resolver as questões de direito de propriedade relativas ao uso da água.

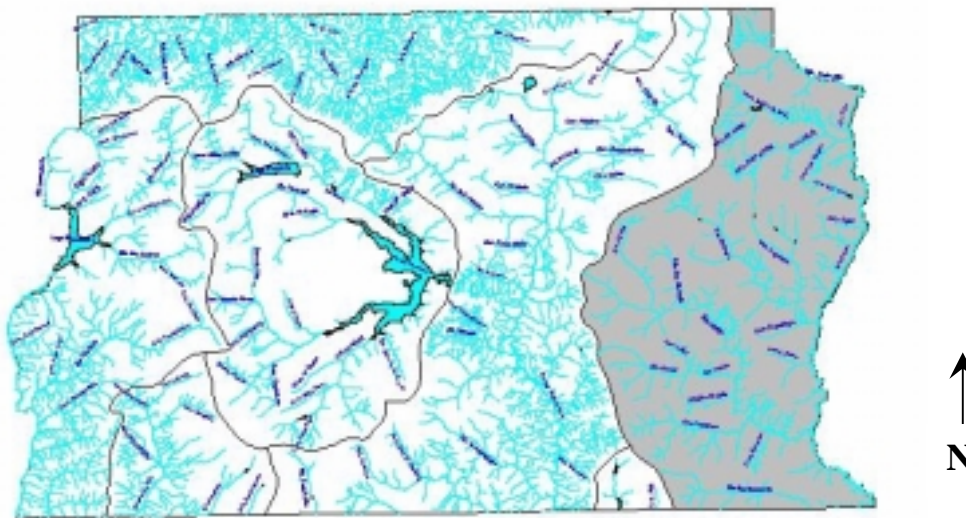


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Preto no Distrito Federal.

O **objetivo geral** do trabalho foi avaliar a viabilidade de aplicação das licenças comercializáveis ao caso concreto da bacia do rio Preto, no Distrito Federal, a partir de um sistema de mercado dinâmico de alocação de quotas de água entre os produtores rurais irrigantes.

O trabalho de pesquisa se processou, metodologicamente, em uma sequência de etapas, que basicamente coincide com a estrutura deste artigo. Inicialmente, uma **revisão bibliográfica** mostrou a fundamentação teórica dos instrumentos econômicos aplicados à gestão ambiental e de recursos hídricos, focalizando as licenças negociáveis e suas aplicações em mercados de água. Tais experiências serviram como referência à formulação do modelo. De posse dessas informações, foram realizadas a **Formulação do Modelo Teórico** e a **Pesquisa de Campo**. Nessas etapas, foram definidas, de acordo com a literatura, as bases para o modelo de quotas comercializáveis de água, sobre o qual foram fundamentados os trabalhos de campo. A pesquisa de campo consistiu na aplicação de questionários em entrevistas com os irrigantes, processo precedido da elaboração dos questionários e da delimitação do espaço amostral da população de irrigantes na região estudada. A seguir, os resultados das entrevistas foram examinados e a adequabilidade do modelo inicialmente proposto foi verificada na fase de **Análise de Resultados**.

## 2. As Licenças Negociáveis e os Mercados de Água

As licenças negociáveis foram originalmente concebidas para serem um mecanismo de controle de poluição do ar (Hanley *et al*, 1997). De acordo com Montgomery (1972), o sistema de licenças negociáveis é um tipo específico de direito de propriedade, que consiste em uma autorização por meio da qual os agentes econômicos, no desenvolvimento de suas atividades produtivas, são autorizados a poluir ou a degradar o meio ambiente.

De acordo com Carlson e Sholtz (1994), existem dois tipos preponderantes de condições que podem limitar a eficiência de um mercado de licenças. Primeiro, supõe-se que todos os integrantes do mercado têm pleno conhecimento sobre as atividades dos outros participantes, o que, em situações reais, é virtualmente impossível. A segunda condição relaciona-se ao grau de interferência estatal necessário para que o mercado funcione adequadamente.

Tietenberg (1980) salienta que a distribuição inicial das permissões reflete diretamente o grau de controle que o Estado exerce sobre o processo. O autor aborda dois modos diferentes de distribuir inicialmente as licenças. O primeiro caso funcionaria como um subsídio, em que a autoridade governamental distribui as licenças de forma gratuita, exercendo grande controle sobre o sistema de troca de licenças. Na segunda forma, a responsabilidade sobre a distribuição inicial recairia sobre participantes, os quais comprariam a licença do governo. Tietenberg (1980) observa, ainda, a existência de uma alternativa que mescla características de ambos procedimentos anteriormente apresentados.

Vários governos têm procurado estabelecer mercados de direitos transferíveis de uso de água (Thobani, 1997), uma vez que a descentralização do gerenciamento dos recursos hídricos pode ser vantajosa para as autoridades governamentais, com a redução de custos de natureza administrativa. Nesse sentido, Binswanger e Rosegrant (1994) e Simpson (1994) prevêm outra grande vantagem: a administração do sistema pelos usuários funciona como um incentivo para que eles próprios efetuem o controle dos custos das externalidades relacionadas à gestão da água. Tal controle, na opinião dos autores, reduziria a pressão sobre o uso dos recursos hídricos, com a conseqüente diminuição dos níveis de degradação.

Antes de decidir implantar um mercado de licenças, as instituições governamentais devem observar se certas condições são satisfeitas. Simpson (1994) afirma que sem esse conjunto de condições, o mercado idealizado **não será operacional**.

A primeira de tais condições diz respeito ao **valor econômico da água**. É comprovado que a região onde será desenvolvido o sistema de direitos negociáveis deve obrigatoriamente conviver com situações de grande escassez de água (Thobani, 1997). Os mercados de águas que obtiveram melhores resultados localizavam-se em regiões áridas ou semi-áridas, em que a escassez criava demandas altamente competitivas (Simpson, 1994).

A segunda condição é a existência de **legislação adequada** que dê suporte ao mercado, estabelecendo e respeitando os direitos de uso da água por agentes privados, independentes da posse da terra e por longos períodos de tempo, se necessário. Quando fatores de ordem política e cultural podem interferir decisivamente no mercado, dificilmente o mercado será efetivo. Simpson (1992, 1994) prevê, ainda, que tanto a legislação

quanto o sistema de direitos efetivamente instalado devem ter aceitação total por parte da sociedade. O autor ressalta que os direitos devem ser mensuráveis por meio de métodos acessíveis à maioria dos usuários, para facilitar o processo de negociação e transferência.

Finalmente, é necessária certa **infra-estrutura institucional**, tanto pública quanto particular, para que o mercado entre em funcionamento. Devem existir agências governamentais capazes de quantificar, ceder e fiscalizar os direitos ou títulos. Por outro lado, associações privadas devem ser estabelecidas para administrar os sistemas de maneira correta e eficiente (Thobani, 1997 e Simpson, 1992, 1994).

Sendo observados esses pré-requisitos, o passo seguinte seria realizar campanhas de informação e conscientização, com os próprios usuários. O propósito dessa etapa, ainda anterior à implantação do mercado, é minimizar a interferência de fatores políticos e culturais no mercado.

### 3. O uso dos recursos hídricos na bacia do rio Preto

A bacia do rio Preto é subdividida em 10 sub-bacias, ou Unidades Hidrográficas, para as quais foram levantadas informações sobre as características hidrológicas e demandas de água para irrigação (SADF, 1995). De acordo com Cordeiro Netto *et al.* (1995), para cobrir todas as denominadas UHs (Unidades Hidrográficas), foram definidos alguns pontos de controle, para os quais foram calculadas três vazões características: a vazão média mensal de longo período para os meses de estiagem ( $Q_{LP}$ ), a vazão média mensal mínima com tempo de retorno de 10 anos ( $Q_{min,10}$ ) e a vazão mínima média de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ). Esses pontos de controle correspondem à foz dos corpos d'água das Unidades Hidrográficas, conforme indicado na figura 2. A tabela 1 e a figura 2 mostram as sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Preto, especificando as vazões características dos seus principais corpos d'água (pontos de controle).

Tabela 1: Áreas de drenagem e vazões características, em l/s, nos pontos de controle das unidades hidrográficas da bacia do rio Preto, em m³/s.

Ponto de Controle – Unidade Hidrográfica	Área de Drenagem da U.H. (km²)	Vazões Naturais (l/s)		
		$Q_{LP}$	$Q_{min,10}$	$Q_{7,10}$
Rio Preto a jusante do limite da U.H. <b>Santa Rita</b>	81,1	1,61	0,56	0,51
Córrego Jacaré na sua Foz na U.H. <b>Jacaré</b>	202,5	1,71	0,60	0,54
Rio Preto a jusante do limite da U.H. <b>Jacaré</b>	202,5	3,54	1,24	1,12
Ribeirão Extrema na sua Foz na U.H. <b>Extrema</b>	243,6	2,32	0,81	0,74
Rio Preto no limite da U.H. <b>São José</b>	85,4	3,87	1,35	1,23
Rio Preto no limite da U.H. do <b>Buriti Vermelho</b>	56,6	9,30	3,24	2,94
Rio Jardim na U.H. <b>Alto Jardim</b>	238,4	2,27	0,79	0,72
Rio Jardim na U.H. <b>Médio Jardim</b>	152,6	3,64	1,27	1,15
Rio Jardim na sua Foz na U.H. <b>Baixo Jardim</b>	146,3	4,93	1,72	1,56
Rio Preto no limite da U.H. <b>Capão do Lobo</b>	39,3	14,29	4,99	4,53
Córrego <b>São Bernardo</b> na sua Foz	67,2	1,36	0,47	0,43
Rio Preto a jusante da U.H. <b>São Bernardo</b>	<b>1.313,0</b>	27,20	9,49	8,62

**Fonte:** Cordeiro Netto *et al.* (2000).

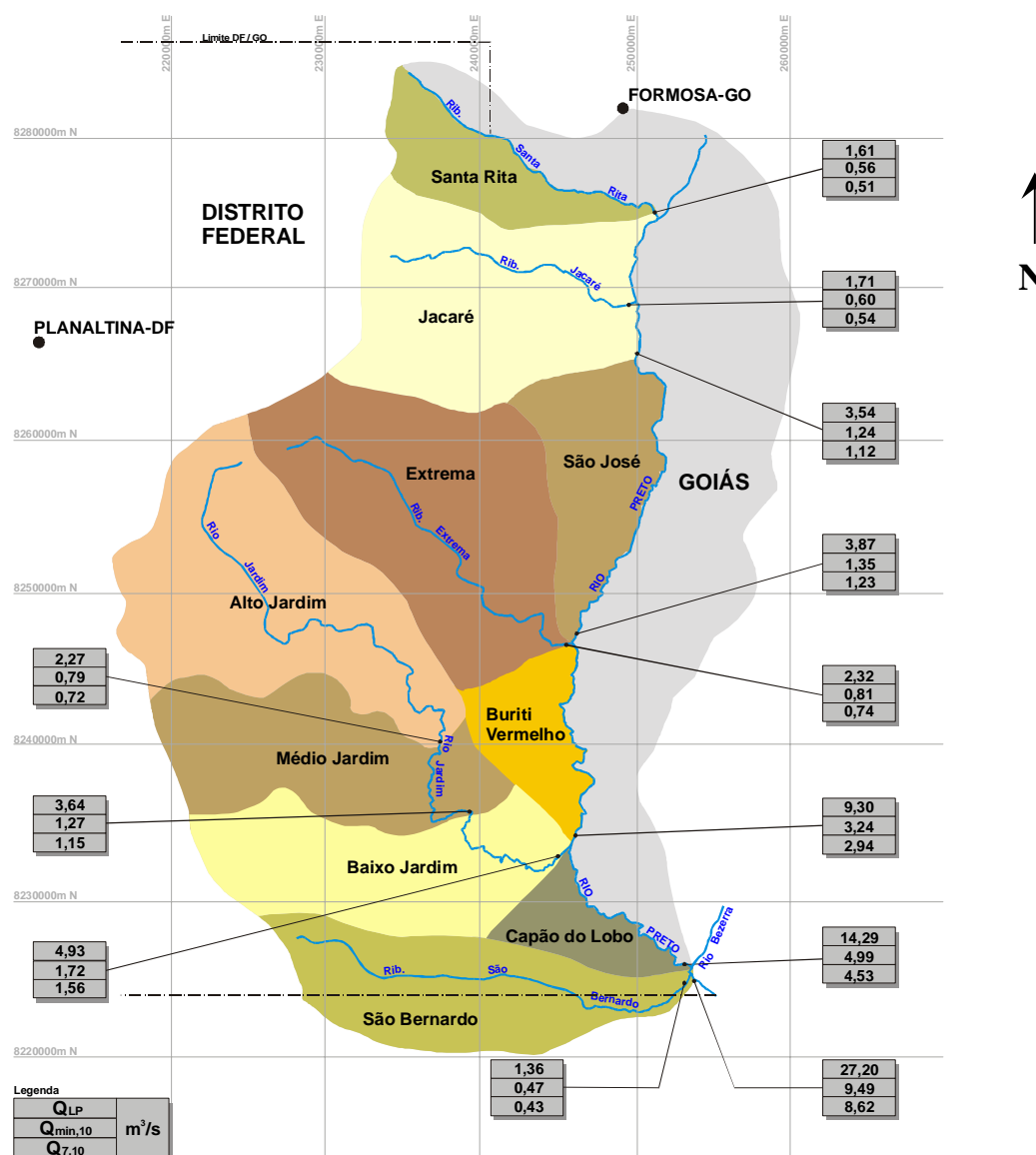


Figura 2: Unidades Hidrográficas e vazões naturais da bacia do rio Preto no Distrito Federal (Fonte: Cordeiro Netto et al., 2000).

A caracterização e a quantificação da demanda por água registrada na bacia hidrográfica do rio Preto devem estar em conformidade com o uso atual do solo na área. Como discutido anteriormente, a principal atividade econômica desenvolvida na região é a agropecuária.

A tabela 2 traz informações sobre a demanda por água para irrigação verificada nas Unidades Hidrográficas da bacia do rio Preto. Esses dados são comparados com o valor de  $Q_{7,10}$  da bacia (tabela 1 e figura 2), pois, como será visto posteriormente, a definição dos títulos será, em grande parte, baseada nesse valor de vazão mínima. As demandas por outros usos não se encontram quantificadas, pois, segundo SADF (1995), são de pouca relevância quando comparadas com as demandas para agricultura. As vazões de demanda da tabela 2 baseiam-se em SADF (1995) e em relatórios coletados diretamente junto a funcionários do órgão, datados de 1998.

Os dados da tabela 2 mostram que, de maneira geral, as vazões mínimas observadas são da mesma ordem de grandeza das demandas, seja em 1995 ou em 1998. O caso mais crítico, como se pode perceber, é o da sub-bacia do ribeirão Extrema. Ainda assim, a proximidade com o rio Preto, especialmente no caso das Unidades Hidrográficas São Bernardo, São José, Baixo Jardim e Buriti Vermelho, pode atenuar o quadro de

escassez. Os pontos de controle próximos aos deltas dessas sub-bacias geralmente verificam vazões superiores às demandas.

Tabela 2: Demanda estimada para irrigação, em l/s, por Unidade Hidrográfica.

<i>Unidade Hidrográfica</i>	<i>Demanda estimada, em l/s (1995)</i>	<i>Demanda estimada, em l/s (1998)</i>	<i><math>Q_{7,10}</math>, em l/s (figura 4.2)</i>
<i>Santa Rita</i>	<i>117,0</i>	<i>269,5</i>	<i>510,0</i>
<i>Jacaré</i>	<i>594,0</i>	<i>380,6</i>	<i>540,0</i>
<i>São José</i>	<i>348,3</i>	<i>337,0</i>	<i>1.230,0</i>
<i>Extrema</i>	<i>784,8</i>	<i>1.340,8</i>	<i>740,0</i>
<i>Buriti Vermelho</i>	<i>648,0</i>	<i>1.231,6</i>	<i>2.940,0</i>
<i>Alto Jardim</i>	<i>547,2</i>	<i>414,5</i>	<i>720,0</i>
<i>Médio Jardim</i>	<i>570,6</i>	<i>1.060,1</i>	<i>1.150,0</i>
<i>Baixo Jardim</i>	<i>797,4</i>	<i>614,1</i>	<i>1.560,0</i>
<i>Capão do Lobo</i>	<i>171,9</i>	<i>212,9</i>	<i>4.530,0</i>
<i>São Bernardo</i>	<i>577,8</i>	<i>676,1</i>	<i>430,0</i>

**Fonte:** SADF (1995) e EMATER.

Ilustrada a demanda por água para irrigação, ainda que estimada, é importante ressaltar o potencial agrícola da bacia hidrográfica do rio Preto. De uma maneira geral, as Unidades Hidrográficas possuem capacidade de aproveitamento para irrigação muitas vezes superior ao atual, destacando-se as unidades Jacaré, São José, Extrema, Buriti Vermelho, e Alto Jardim.

Quanto à área irrigada e às técnicas de irrigação predominantes em cada sub-bacia, pode-se dizer, de forma geral, que a irrigação com pivôs centrais é predominante em todas as sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Preto, se comparada aos outros métodos, como aspersão convencional, microaspersão, gotejamento, etc. (SADF, 1995).

#### 4. Modelo Teórico

A figura 3 ilustra, de acordo com o modelo teórico proposto, os passos necessários à criação do mercado de águas, além da maneira como tais procedimentos, também descritos a seguir, relacionam-se com as fases de planejamento, operação e manutenção (fiscalização e monitoramento) do sistema de gestão proposto.

##### 4.1. Quantificação hidrológica e definição das categorias das licenças

Em função das vazões específicas da bacia, e dos demais condicionantes legais, deve-se estabelecer um "valor de vazão de restrição" ( $Q_r$ ) para os pontos de controle de cada Unidade Hidrográfica. Esse valor corresponde a um mínimo de vazão que deve ser sempre mantido nos corpos d'água para a conservação de ecossistemas naturais e para o atendimento de demandas essenciais a jusante. O valor máximo de vazão que pode ser outorgada é definido pelo Decreto Distrital 22.359. De acordo com o decreto, a vazão de restrição deve ser, pelo menos, igual a 20% de  $Q_{7,10}$ , para os corpos d'água do Distrito Federal. Preservada a vazão de restrição legal, o volume de água restante poderia ser objeto de autorizações para retirada, dividindo-se em dois blocos:

- $Q_1$ : um módulo de vazão garantido por dez anos, definido de acordo com as vazões naturais mínimas observadas na bacia hidrográfica;
- $Q_2$ : um módulo de vazão garantido por apenas um ano, calculado sobre as vazões que venham a exceder os valores de  $Q_1$ .

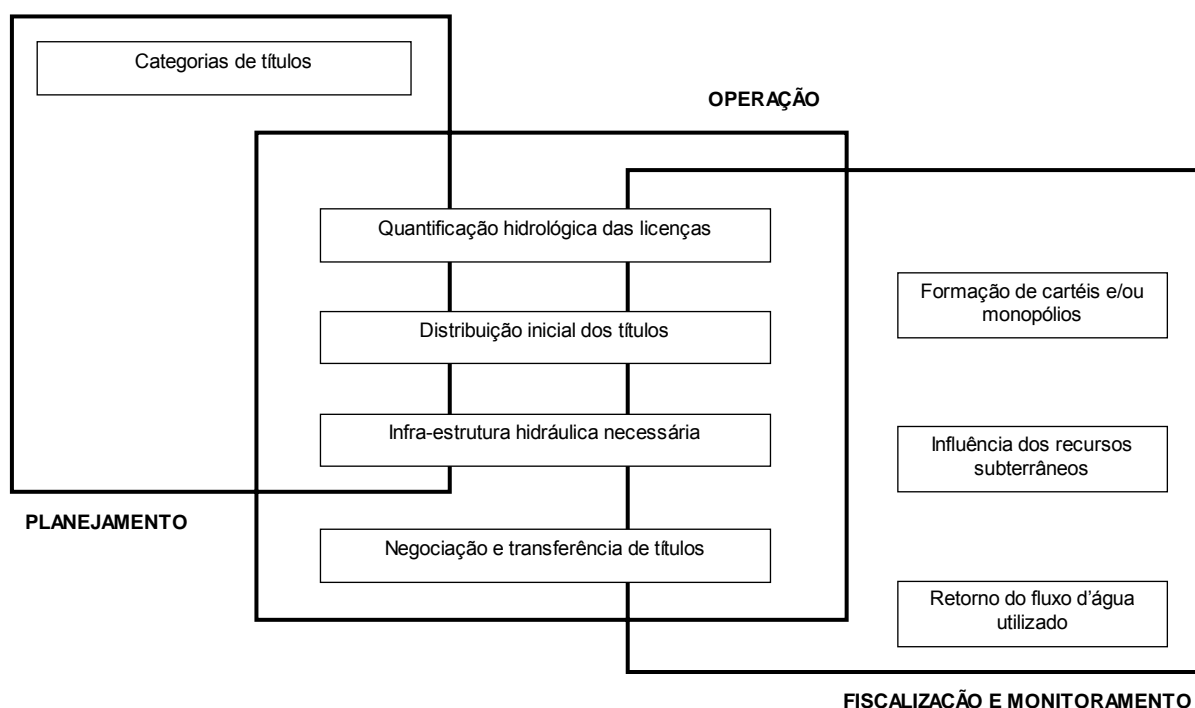


Figura 3: Esquemática gráfica do modelo de gestão proposto.

Propõe-se que os títulos  $Q_1$  sejam válidos por 10 anos e, em concordância com o Decreto 22.359, correspondam a 80% de  $Q_{7,10}$ . Ao término dos cinco anos iniciais, o uso definido para essas licenças seria avaliado pelo órgão gestor e, caso exista, pelo Comitê de Bacia Hidrográfica. Em virtude dos resultados dessa avaliação, a concessão do título pode ou não ser renovada por mais cinco anos. Os parâmetros de avaliação do uso das licenças devem ser baseados, prioritariamente, em critérios econômicos.

Já o módulo  $Q_2$  teria seu valor variável a cada ano, e seria autorizado no início de cada estação seca, por um período equivalente ao de estiagem. No final desse período, o uso dos títulos seria reavaliado e, eventualmente, prorrogados para o período chuvoso, em função da disponibilidade hídrica verificada e da demanda existente (Cordeiro Netto *et al.*, 2000). Os módulos  $Q_2$  seriam estimados, anualmente, por meio de modelos hidrológicos.

#### 4.2. Distribuição inicial dos títulos

O modelo aqui apresentado considera adequado um **sistema de distribuição inicial híbrido entre leilões e subsídios**, para não excluir do mercado os agricultores familiares de reduzido poder aquisitivo. Dessa maneira, **a distribuição dos títulos deve considerar uma parcela a ser distribuída sob forma de subsídio**. Para garantir a permanência na área de agricultores de menor poder aquisitivo, **propõe-se que parte dos títulos do tipo  $Q_1$  seja gratuitamente concedida a todos os participantes do mercado**.

Todas as propriedades localizadas dentro da mesma Unidade Hidrográfica receberiam gratuitamente quotas rigorosamente iguais do módulo de vazão  $Q_1$ . É importante salientar que as licenças que forem concedidas como subsídio não devem estar sujeitas à avaliação quinquenal. A porcentagem de títulos  $Q_1$  que é concedida como subsídio varia de acordo com a Unidade Hidrográfica. Basicamente, **são consideradas duas categorias de sub-bacias**.

O primeiro grupo engloba as Unidades Hidrográficas cujos corpos d'água principais são de primeira ordem, ou seja, a bacia contém as nascentes dos referidos corpos d'água. Para essas unidades Hidrográficas, prevê-se que **a porcentagem de licenças do tipo  $Q_1$  subsidiadas seja de 30%**. A segunda classe abrange as sub-bacias restantes, caracterizadas basicamente por corpos d'água de segunda ordem, que são abastecidos pelos corpos d'água das sub-bacias da categoria anterior. Nesse caso, **os subsídios para os agricultores representariam 20% do montante total de títulos  $Q_1$  disponíveis**.

O motivo de realizar tal distinção está na natural vantagem que as áreas situadas a jusante da bacia possuem em relação às áreas de montante. Sendo assim, é razoável aceitar a hipótese segundo a qual a participação no mercado das propriedades das bacias do primeiro grupo será reduzida, em comparação com as propriedades das Unidades Hidrográficas restantes, que, em teoria, poderiam adquirir, comprando, suas quotas de água em qualquer sub-bacia a montante.

Retirados os subsídios, **os títulos  $Q_1$  restantes são postos à venda**. Cordeiro Netto *et al.* (2000) recomendam que a distribuição seja realizada em **leilões de rodadas sucessivas**, para acomodar gradualmente a demanda por títulos. É possível que esse tipo de distribuição venha a produzir certo impacto nos níveis de atividade do mercado, provavelmente reduzindo a quantidade de trocas nos primeiros e nos últimos anos do intervalo de tempo considerado. Assim, é importante ressaltar que os estudos de quantificação dos módulos  $Q_1$ , bem como o planejamento dos leilões, devem ser realizados antes do término desses 10 anos. Se não houver um hiato entre distribuições sucessivas, os supostos impactos devem ser minimizados. Além disso, se forem observados certos parâmetros, como competitividade e divulgação apropriada de informações acerca da posse dos títulos, o mercado tende a atingir mais rapidamente um estado de equilíbrio, com níveis regulares de trocas ou negociações de licenças.

**A distribuição dos módulos  $Q_2$  deve levar em conta um período de transição** para a implantação do mercado, já que os recursos hídricos da região vêm sendo intensamente utilizados (Cordeiro Netto *et al.*, 2000). O modelo considera adequado um período de transição de 10 anos. O ajuste necessário à transformação do estado atual da bacia para a situação desejada é feito **repartindo-se as licenças  $Q_2$  entre quotas a vender e quotas a ceder**, gratuitamente. A divisão seria iniciada com quotas iguais, sendo que a porcentagem de subsídios seria gradativamente reduzida, ano a ano, no primeiro decênio de existência do mercado. Ao fim desses 10 anos, todos os títulos do tipo  $Q_2$  seriam distribuídos somente em leilões. O critério a utilizar na distribuição dos subsídios seria a base atual de consumo de água na bacia. Para não provocar impacto na produtividade agrícola da região, os grandes produtores ou usuários teriam o direito de usufruir da maior parte das licenças  $Q_2$  subsidiadas.



#### 4.3. Gestão do sistema (aspectos institucionais, administrativos e operacionais)

A criação de um mercado de águas na bacia hidrográfica do rio Preto, obedecerá, obrigatoriamente, à **legislação de gestão de recursos hídricos** em vigor no Brasil. O gerenciamento dos recursos hídricos na bacia do rio Preto deve, então, ser realizado em conformidade com a Lei n.º 9.433, que instituiu, em 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos no país. Sendo assim, **a administração de um sistema de quotas comercializáveis de água para irrigação de culturas seria de responsabilidade do órgão gestor de recursos hídricos, em coordenação com o Comitê de Bacia Hidrográfica** a ser instituído na área de estudo.

#### 4.4. Forma de negociação e transferência de títulos

A negociação e a transferência das licenças deve ser simplificada ao máximo para que não seja comprometido o funcionamento adequado do mercado. Para tanto, o Comitê de Bacia deve tornar pública a situação da posse de títulos. Tais registros devem conter informações acerca da distribuição inicial das quotas e das negociações e trocas efetuadas desde então. Para tornar tal medida prática, **as partes interessadas no comércio das quotas devem procurar o órgão gestor e submeter a transação à sua aprovação**. O órgão gestor deve então possuir agilidade suficiente para que a burocracia decorrente de tal medida não prejudique o andamento das negociações, além de contar com autonomia suficiente para estipular penalidades decorrentes do não-cumprimento do que estabelecem os termos legais das licenças.

#### 4.5. Infra-estrutura hidráulica

**A infra-estrutura física do mercado de águas da bacia do rio Preto será implantada pelas autoridades públicas** do Distrito Federal. Existe um estudo desenvolvido pela Secretaria de Agricultura, denominado “Projeto de Aproveitamento Hidroagrícola da Bacia do rio Preto”, que consiste na construção de barragens de portes variados nos afluentes do rio Preto. A construção dessas barragens possibilitará o armazenamento da água no período de chuvas, e seu fornecimento ao longo do ano, aumentando a área irrigada e elevando a garantia de abastecimento no período mais seco do ano (SADF, 2000). Além da construção das barragens, estão previstas obras coletivas para distribuição e fornecimento de água a diversas propriedades.

#### 4.6. Monitoramento e fiscalização

O monitoramento e fiscalização do mercado de águas devem ser de responsabilidade do órgão gestor de recursos hídricos, em coordenação com o Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Preto. Para isso, o Comitê deve possuir autonomia para desenvolver e aplicar a regulamentação e as penalidades necessárias ao funcionamento do mercado. A receita necessária para manter a estrutura de fiscalização (recursos físicos e humanos) seria proveniente dos recursos obtidos na etapa de distribuição inicial das licenças. O processo de fiscalização pode aproveitar a infra-estrutura física e administrativa que a EMATER possui na região. A influência dos recursos subterrâneos é apontada por vários autores como uma das potenciais deficiências dos mercados de águas, ameaçando seu funcionamento.

### 5. Pesquisa de Campo e Análise de Resultados

Para a determinação do universo amostral, foi considerado que o conjunto de usuários dos recursos hídricos da bacia do Rio Preto era composto exclusivamente por irrigantes cadastrados na Secretaria de Agricultura, mais especificamente na Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural – EMATER. Os irrigantes são classificados em dois grupos, de acordo com critérios definidos pela Secretaria de Agricultura do DF: **familiares e patronais**.

De posse desse cadastro, foi efetuado o cálculo da amostra propriamente dita, conforme Nogueira (1982) e Sinsich (1985), resultando em 35 indivíduos a serem entrevistados. Destes, 20 são produtores familiares e 15 são produtores patronais. Para testar o questionário, 2 produtores (1 familiar e 1 patronal) foram entrevistados. Como não foram necessárias alterações posteriores no questionário, a amostra foi considerada igual a 37 agricultores, 21 familiares e 16 patronais. A amostra escolhida foi selecionada aleatoriamente dentro do universo. Os resultados das entrevistas estão expressos tanto em frequência absoluta (quantidade de produtores) como relativa (porcentagem).

Algumas características dos produtores foram inicialmente levantadas para identificar se a situação física, social e econômica da bacia realmente favoreceria o mercado. O tipo de proprietário predominante na bacia do rio Preto no Distrito Federal, arrendatário (65% dos entrevistados), favorece a criação do mercado de licenças, uma vez que esses produtores já estão familiarizados com o conceito de concessão de uso. Tal conceito seria apenas estendido da posse da terra para o uso dos recursos hídricos.

A implantação de um sistema econômico de gestão de recursos hídricos faz da renda média dos proprietários um fator de extrema importância. Contudo, dos 37 produtores amostrados, 15 deles (40,5%) não forneceram quaisquer indicações que pudessem ser úteis para que pudesse ser efetuada a estimativa de seus rendimentos, seja mensal ou anual, o que limita a avaliação da viabilidade do modelo.

A bacia do rio Preto encontra-se em um estágio de transição, considerando os aspectos tecnológicos da irrigação de culturas. A irrigação por sulcos, por exemplo, não mais consta como método principal, em virtude do desperdício de água que proporciona. Segundo técnicos da Secretaria de Agricultura, o gotejamento, método mais eficiente, vem sendo cada vez mais empregado, principalmente no cultivo de hortaliças e frutas, substituindo métodos como a aspersão convencional. Essa transição, entretanto, acontece por intermédio e influência da própria Secretaria de Agricultura, que facilita essa troca de métodos. Tanto que o emprego de microaspersão, outro método de conhecida eficiência, mas mais caro, ainda é extremamente reduzido. Mesmo assim, o aumento do número de agricultores que começam a empregar métodos mais eficientes revela-se um incentivo à implementação de um mercado de águas, pois atesta um aumento do valor atribuído à água.

A determinação da quantidade de água empregada em irrigação revelou-se a grande deficiência dos dados obtidos nas entrevistas. Dos 37 produtores questionados, apenas 7 (18,9%) souberam fornecer dados diretos de vazão de irrigação. Dos 81,1% restantes, ou 30 irrigantes, apenas a metade deles, 15 (40,5%), apresentaram informações adicionais sobre seus sistemas de irrigação, no caso a potência das bombas para recalque de água. O fato de não saber quanto de água consomem, ou mesmo não divulgar tal informação, pode representar um obstáculo à implantação do mercado. O funcionamento do mercado de águas será comprometido se houver grandes dificuldades para a quantificação das licenças, em termos de volume ou de vazão.

Quanto ao tipo de captação, 94,6% dos irrigantes entrevistados empregam água proveniente de mananciais superficiais. Mais da metade destes já faz uso regular de pequenos barramentos, tanto particulares quanto comunitários. Essas barragens, que na maioria das vezes possuem canais para a distribuição de água entre os vários lotes atendidos, indicam que as estruturas hidráulicas compartilhadas entre os usuários, requisito importante para o mercado, já existem, e facilitariam ou acelerariam a implementação do sistema de licenças. A parcela de agricultores que empregam poços como fonte de água para agricultura foi considerada negligenciável (apenas 1 em 37 entrevistados), e não seria relevante no processo de implantação e operação do mercado, uma vez que a retirada de água de mananciais subterrâneos para irrigação não possibilita, na região, vazão suficiente para irrigação.

Com o objetivo de identificar prováveis conflitos de uso da água, e assim determinar seu grau de intensidade, os agricultores foram questionados sobre a existência de reclamações, formalizadas por eles próprios contra outros agricultores, ou recebidas pelos entrevistados. Pelas informações fornecidas, é difícil identificar, na atualidade, um conflito de grandes proporções pelo uso dos recursos hídricos na bacia hidrográfica na bacia do rio Preto no Distrito Federal. É reduzida a porcentagem de pessoas que admite ter reclamado (29,7% dos produtores), sendo ainda inferior a quantidade de irrigantes que recebeu reclamações (5,4% do total).

Quando perguntados se a água disponível para irrigação era suficiente, as respostas vêm a comprovar que os conflitos de uso da água não são ainda evidentes, uma vez que, dos 37 irrigantes entrevistados, 30 (ou

81,1%) responderam ser a água disponível suficiente. A disposição a pagar pela água empregada na irrigação de culturas refletiria esse cenário atual de relativa abundância de água e de conflitos isolados, como atestam a tabela 3 e a figura 4.

Tabela 3: Disposição a pagar pela água empregada na agricultura irrigada, em frequência absoluta e relativa.

Está disposto a pagar	Não		Sim		Total	
	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.
Familiar	14	37,8	7	18,9	21	56,8
Patronal	12	32,4	4	10,8	16	43,2
<b>Total</b>	<b>26</b>	<b>70,3</b>	<b>11</b>	<b>29,7</b>	<b>37</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Pesquisa de campo. Pergunta: Estaria disposto a contribuir com dinheiro por uma quantidade segura de água?

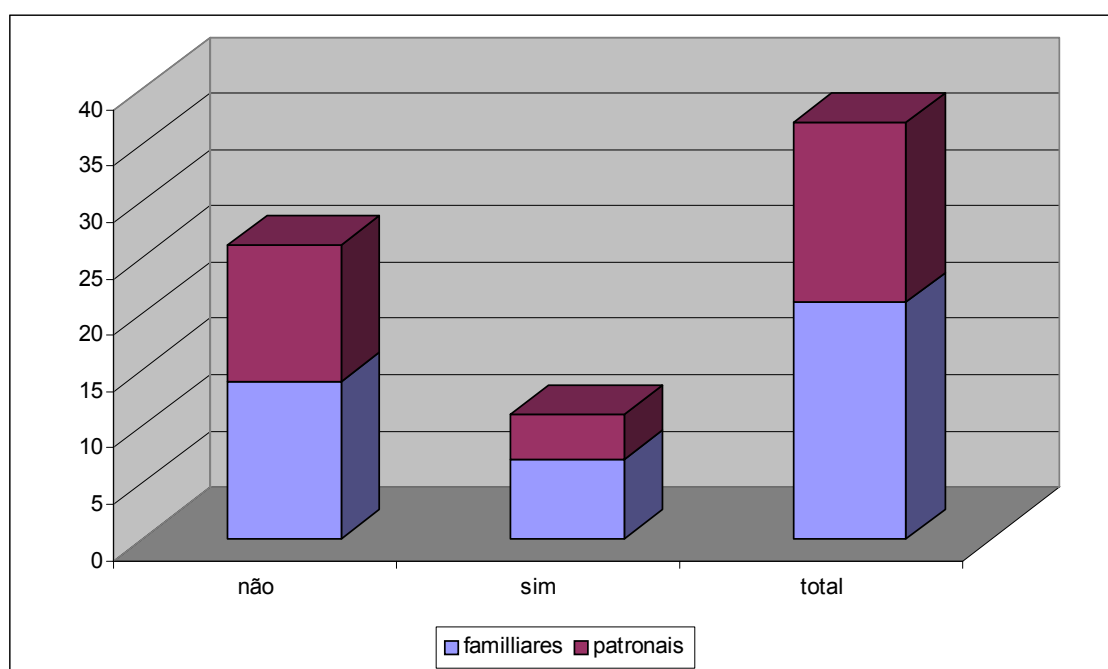


Figura 4: Disposição a pagar pela água por classes de produtores rurais.

O motivo que justifica os baixos índices de disposição a pagar pode, em parte, ser simplesmente cultural. Entre as justificativas e argumentos frequentemente apresentados pelos próprios agricultores para não pagar pela água, especialmente os que mostram mais condições econômico-financeiras para tanto, está o tradicional conceito que o direito de uso à água está associado ao direito de exploração da terra. Vários dos agricultores que se recusariam a pagar pela água asseguram não ser justa a cobrança por um bem que já lhes “pertence”. Uma reação espontânea e relativamente frequente dos produtores, informalmente observada nas entrevistas, foi aceitação a pagar pela água caso fossem obrigados por lei. Essa predisposição a pagar por um tipo de tarifa não é um bom indicador para o instrumento de mercado, pois demonstra que os prováveis participantes demonstram pouca disposição em negociar os valores em um mercado. Isso dificultaria tanto a distribuição inicial dos títulos quanto as futuras negociações de licenças.

Já discutindo as licenças de longo termo propostas pelo modelo, os agricultores irrigantes, quando perguntados sobre a disposição a pagar por tais títulos, mostraram-se mais interessados por esse sistema do que simplesmente pela cobrança, apesar de ainda ser elevada rejeição por qualquer tipo de cobrança, como mostram a tabela 4 e a figura 5.

Tabela 4: Disposição a pagar pela licença comercializável, em frequência absoluta e relativa.

Compraria o título	Sim		Não		Total	
	abs.	rel.	abs.	rel.	abs.	rel.
Familiar	10	27,0	11	29,7	21	56,8
Patronal	9	24,3	7	18,9	16	43,2
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>51,4</b>	<b>18</b>	<b>48,6</b>	<b>37</b>	<b>100,0</b>

*Fonte: Pesquisa de campo. Pergunta: Você pagaria por uma autorização que permitisse usar certa quantidade de água para irrigação durante 10 anos?*

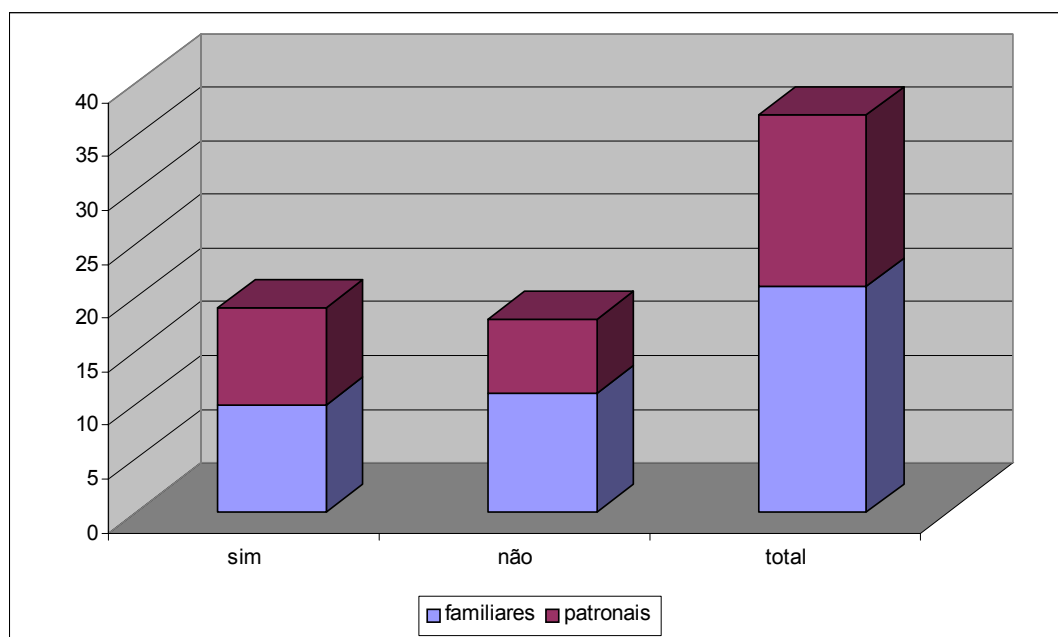


Figura 5: Número de produtores dispostos a adquirir as licenças, por classe.

A garantia e a segurança representada por esse tipo de título, do modo como foi perguntado, aparentemente fizeram com que a porcentagem de agricultores disposta simplesmente a pagar aumentasse de 29,7% (tabela 3) para os 51,4% que comprariam as licenças (tabela 4). Admite-se, no entanto, que foi relativamente difícil para os agricultores compreender um tipo de contrato ou título que representa uma quota negociável de água. Foi preciso, muitas vezes, fazer alusão ao sistema de concessão de uso da terra, ou arrendamento, a que a maioria dos proprietários está submetida pela Secretaria de Agricultura do Distrito Federal.

Dentre os que não se dispõem a comprar a licença, muitos pensam não ser viável o sistema de mercado exposto, pelas próprias características dos agricultores da região. A grande maioria dos entrevistados afirmou ser improvável o sucesso de um sistema de divisão de água em quotas fixas para cada proprietário, não acreditando que tal determinação viesse a ser cumprida.

O período de validade das licenças negociáveis foi também verificado pelo questionário. A licença deve ter um período de validade tal que proporcione aos agricultores recuperar os recursos investidos na produção irrigada. Para isso, foi questionado sobre qual tempo, em média, seria necessário para conseguir o retorno dos investimentos. De acordo com as respostas, a permissão de uso de água de longo termo, tratada pelo modelo como Q<sub>1</sub>, com validade de 10 anos, é insuficiente na opinião de 27% dos agricultores.

As tendências de mercado para o comércio de quotas não se mostraram promissoras. Enquanto a maioria dos entrevistados, ou 51,4%, propõe-se a participar do sistema de licenças, apenas 43,2% estariam dispostos a comercializar o título em sua posse. Tais índices indicam obstáculo ao funcionamento adequado de um

mercado de águas, que viria a operar abaixo de sua capacidade teórica de trocas e negociações de títulos, dada a grande quantidade de títulos ociosos. Uma observação de grande relevância feita por alguns agricultores explica a pequena disposição para o comércio e a troca de licenças anuais ( $Q_2$ ). Segundo eles, as negociações (compra, venda e aluguel) das permissões seriam inviáveis por períodos de um ano se a burocracia envolvida no processo fosse excessiva. A agilidade das regras estabelecidas para a troca de licenças deve existir, segundo os próprios, para que não haja prejuízos na produtividade das propriedades.

A eficiência de um mercado de águas, como detalhado na literatura, é medida pela capacidade dos usuários em administrar diretamente os recursos hídricos a serem geridos, com pouco nível de interferência governamental. Os entrevistados foram perguntados sobre seus atuais vínculos com associações de agricultores, cooperativas de produtores rurais, etc. Os irrigantes foram questionados, diretamente, se faziam parte de alguma corporação como as descritas. As respostas obtidas são um indicador positivo para a implantação do mercado de águas, uma vez que aproximadamente 60% dos agricultores já se encontram associados a algum tipo de instituição de caráter privado. Apesar da parcela restante ser considerável, a atuação das associações de agricultores já existentes poderia facilitar a participação efetiva dos usuários em um Comitê de Bacia Hidrográfica para o rio Preto para administração do mercado.

O questionário foi finalizado com duas perguntas, igualmente diretas, sobre quem seria responsável por implementar melhorias que viessem a facilitar a prática da agricultura irrigada na bacia do rio Preto no Distrito Federal e qual o agente responsável por solucionar conflitos de uso da água nesta mesma região. As respostas destas duas questões expressam alto grau de similaridade, estando polarizadas, tanto no caso de melhorias para irrigação quanto para a solução de conflitos, entre o Governo do Distrito Federal, e os Comitês de Bacia Hidrográfica, por razões relativamente simples.

Entre optar pelos governos Federal e Local, a escolha pelo último é óbvia em virtude do grande contato dos produtores rurais irrigantes com a Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER/DF), órgão vinculado à Secretaria de Agricultura do Distrito Federal. O Comitê é a melhor escolha porque, na opinião de grande parte dos entrevistados, o governo tem apresentado falhas onde as associações são comprovadamente incapazes de atuar. A aparente equivalência entre os dois agentes relacionados, aliada ao número observado de agricultores já associados a algum tipo de organização privada, é um indicador que a administração do mercado poderia ser realizada com a participação de um Comitê de Bacia Hidrográfica.

## 6. Comentários conclusivos

A atual realidade brasileira evidencia, claramente, que a gestão eficaz dos recursos hídricos é cada vez mais necessária à otimização de processos produtivos, especialmente no caso da agricultura. Portanto, o emprego de instrumentos econômicos na gestão da água pode vir a ser de grande relevância para o país.

Considera-se que o procedimento de pesquisa propiciou importantes observações sobre a viabilidade das licenças comercializáveis para a gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Preto no Distrito Federal. De uma maneira geral, o mercado de águas, da forma como foi proposto, apresentou tanto indícios positivos quanto negativos, esses últimos mais evidentes.

Os principais pontos favoráveis ao mercado observados estão associados a algumas características da bacia que já eram previamente conhecidas, condicionantes à implantação do modelo e que, de certa forma, impulsionaram a realização da pesquisa. Assim, quando os resultados das entrevistas comprovaram os dados anteriormente levantados, estes favoreciam a implementação do modelo proposto. A alta porcentagem de propriedades economicamente ativas, o uso predominantemente agrícola da água na região e o emprego aproximadamente nulo de mananciais subterrâneos na irrigação foram sinais esperados em favor de um modelo de mercado.

Já os aspectos contrários à criação de um mercado de quotas comercializáveis de água para irrigação na bacia do rio Preto estariam intimamente ligados à estrutura do modelo proposto e à teoria associada ao instrumento econômico estudado, as licenças comercializáveis. Por isso, apresentam-se como argumentos muito mais robustos, se contrapostos aos fatores favoráveis anteriormente citados.

Inicialmente, grandes conflitos pelo uso da água, cuja ocorrência era relatada como intensa à época de preparação da pesquisa, não foram constatados na pesquisa de campo. A opinião dos próprios produtores acerca da disponibilidade de água mostra apenas uma leve tendência a existirem sérios conflitos pelo uso dos recursos hídricos na bacia. Algumas disputas pelo uso da água, no entanto, ainda se revelam de forma isolada, mas são resolvidas, em grande parte das ocasiões, de maneira amigável. A pequena quantidade de produtores que admitiu ter efetivado algum tipo de reclamação contra outro agricultor, ou que já as recebeu, confirma isso. Os poucos agricultores dispostos a pagar pela água, a alterar os métodos de irrigação e o tipo de cultura e a negociar títulos evidenciam a pouca flexibilidade de ação dos participantes do mercado, provavelmente um reflexo da situação de escassez pouco intensa descrita. Mesmo a aceitação dos títulos, superior à simples disposição a pagar, deixa claro que os produtores estão apenas conscientes da provável escassez futura. Portanto, os conflitos isolados registrados não caracterizam o cenário de escassez extrema de água na bacia do rio Preto que, conforme a literatura, é um dos principais requisitos para que um mercado de águas seja estabelecido com sucesso.

Outro ponto fortemente desfavorável a um eventual emprego das permissões comercializáveis seria a dificuldade de se promover o ajuste da configuração inicial do modelo, tarefa praticamente inviável, haja vista alguns dos resultados obtidos nas entrevistas, particularmente os relativos a consumo de água e rendimento médio. Dessa forma, não foi possível inferir sobre a adequabilidade das classes de licenças, ou a distribuição inicial da parcela subsidiada.

A comparação entre os argumentos favoráveis e os pontos desfavoráveis sugere que as licenças negociáveis **não seriam, hoje, adequadas** para a gestão econômica dos recursos hídricos na bacia do rio Preto no Distrito Federal. A favor do mercado estão as características físicas e socioeconômicas da bacia do rio Preto, ficando comprovado apenas que a região seria potencialmente propícia à implementação de um sistema de quotas comercializáveis, como era esperado. O conceito e a estrutura do modelo, por outro lado, foram refutados pelas respostas dos irrigantes nas entrevistas. Desse modo, a pequena disposição a adquirir os títulos e a negociá-los atestaria, hoje, a **inviabilidade** de implantação, em curto prazo, de um mercado de quotas de água na bacia do rio Preto.

Portanto, para que a gestão econômica dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Preto no Distrito Federal ocorra de forma eficaz e eficiente, outros instrumentos econômicos (como impostos e subsídios, por exemplo) devem ser contemplados em futuras pesquisas, que servirão de suporte para a elaboração de políticas públicas visando ao gerenciamento adequado do uso da água.

## Referências bibliográficas

- BAUER, C.J. (1997). "Bringing Water Markets Down to Earth: the Political Economy of Water Rights in Chile, 1976-95." *World Development*, **25** (5), 639-656.
- BINSWANGER, H.P. E ROSEGRANT, M. W. (1994). "Markets in Tradable Water Rights: Potencial for Efficiency Gains in Developing Country Water Resource Allocation." *World Development*, **22** (41), 1613-1625.
- CARLSON, D.A. & SHOLTZ, A.M. (1994). "Designing Pollution Market Instruments: Cases of Uncertainty." *Contemporary Economic Policy*, **12**, 114-125.

- CORDEIRO NETTO, O.M., BALTAR, A.M. E PIMENTEL, C.E.B. (2000). "Critérios para Outorga de Uso da Água para Irrigação: o Caso da Bacia do Rio Preto no Distrito Federal." *Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste*, Brasília, Brasil, Artigo 442.
- DINAR, A. E SUBRAMANIAN, A. (1997). *Water Pricing Experiences – An International Perspective*, World Bank Technical Paper n.º 386, 164 p.
- FIELD, B. (1997). "Análisis de Política Ambiental." In: *Economía Ambiental – Uma Introduccción*. McGraw-Hill International Editions, Santa Fé de Bogotá, Colômbia, 211-310.
- HANLEY, N., SHOGREN, J.F. E WHITE, B. (1997). *Environmental Economics – In Theory and Practice*. Macmillan Press, London, UK, 464 p.
- IPDF (1997). *Plano Diretor de Ordenamento Territorial e Urbano do Distrito Federal – PDOT*. Instituto de Planejamento Territorial e Urbano do Distrito Federal, Brasília, Brasil.
- MONTGOMERY, W.D. (1972). "Markets in Licenses and Efficient Pollution Control Programs." In: Oates, W.E. (ed). *The Economics of the Environment*. Edward Elgar Publishing Limited, Hants, UK, 1994, 188-211.
- NOGUEIRA, J.M. (1982). *The Economics of Soil Conservation Measures and Factors Affecting their Adoption, with Reference to Southeast Brazil*. Tese de Doutorado, Universidade de Londres (Wye College), Inglaterra, 518p.
- SADF (1995). *Estudo de Avaliação do Potencial Hídrico para Agricultura Irrigada na Bacia Hidrográfica do Rio Preto - Relatórios dos Módulos II, III, IV, V e VI*. Secretaria de Agricultura do Distrito Federal, Brasília, Brasil.
- SADF (2000). *Projeto de Aproveitamento Hidroagrícola da Bacia do Rio Preto no Distrito Federal*. Secretaria de Agricultura do Distrito Federal, Brasília, Brasil.
- SIMPSON, L.D. (1992). "Conditions for Successful Water Marketing." In: Moigne, G., Easter, K.W., Ochs, W.J. e Giltner, S. (eds). *Water Policy and Water Markets – Selected Papers and Proceedings from the World Bank's Ninth Annual Irrigation and Drainage Seminar*. Annapolis, Maryland, USA, Dezembro de 1992, 97-102.
- SIMPSON, L.D. (1994). "Are 'Water Markets' a Viable Option?" *Finance and Development*, **31**, Junho de 1994, 30-32.
- SINSICH, T. (1985). *Statistics by Example*. Dellen Ed., San Francisco, EUA, 762p.
- THOBANI, T. (1997). "Formal Water Markets: Why, When and How to Introduce Tradable Water Rights." *The World Bank Research Observer*, **12** (2), 161-179.

- TIETENBERG, T.H. (1980). "Transferable Discharge Permits and the Control of Stationary Source Air Pollution: a Survey and a Synthesis." In: Oates, W.E. (ed). *The Economics of the Environment*. Edward Elgar Publishing Limited, Hants, UK, 1994, pp. 212-237.
- WURBS, R.A. (1995). "Water rights in Texas." *Journal of Water Resources Planning and Management*, **121** (6), Novembro/Dezembro de 1995, 447-454.



## **DGRH GUINÉ-BISSAU: O MERCADO DE ÁGUA (EM SITUAÇÃO DE ESCASSEZ).**

**O País:** a República da Guiné-Bissau está limitada ao norte o Senegal, a leste e ao sul com a Guiné-Conakry. O país tem uma área de 36.125 km<sup>2</sup>. Com a excepção da falda da montanha do Futa Djalón, no leste a Guiné-Bissau consiste quase que totalmente numa planície costeira, dentilhada por estuários. As características físicas são rios tortuosos e amplos estuários, com influência das marés que chegam atingir 120 quilómetros no interior do país. Este está dividido em 3 províncias: Norte, Sul e Leste.

**A População:** a Guiné-Bissau tem uma população estimada em 1.400.000, dos quais cerca de 25% moram na capital Bissau, em quanto que os demais habitam nas áreas rurais e centros semi-urbanos.

**Clima e Recursos Hídricos:** o clima da Guiné-Bissau é tropical com uma estação de chuvas (Junho até Outubro) e uma estação seca (Novembro até Maio). Na região Nordeste o clima é quente com influências do Sahel e baixo índice pluviométrico. Na região do Sul a temperatura é mais baixa e a precipitação pluviométrica é consideravelmente mais alta.

Nos últimos anos a média anual das precipitações pluviométricas tem declinado e junto com o crescente desflorestamento tem sido uma ameaça para o reabastecimento dos recursos em água subterrânea. Igualmente constatou-se uma redução acentuada do volume nas bacias hidrográficas, que resulta numa penetração da língua salina mais profunda no país.

Os aquíferos existentes são:

Paleozóico basement/Quaternário (leste), Neogene/Quaternário (oeste),

Miocene,

Oligocene,

Paleoceno/Eocene,

Maestrichiano.

A disponibilidade destes recursos não é uniforme em todo o país. Água subterrânea próxima da superfície existe em grande disponibilidade e é muito usada, mas sofre grandes variações em todo o ano. A água subterrânea que se encontra mais profunda está disponível a diversas profundidades no Norte e no Sul (bacia sedimentaria). Alguns destes aquíferos, no entanto apresentam problemas devido ao alto teor mineral, especialmente ferro. No momento, o melhor aquífero (maestrichiano) está sendo usado para abastecer a capital Bissau e alguns centros urbanos e semi-urbanos.

### **O mercado de água**

Nos últimos 15 anos a Direcção Geral dos Recursos Hídricos (DGRH) da Secretaria de Estado da Energia e Recursos Naturais da Guiné-Bissau tem elaborado vários documentos (esquema director, código de água, draft do regulamento de aplicação do código de água, etc.) com o objectivo de permitir um mercado aberto pelo serviço de abastecimento de água potável.

A água potável é um recurso que infelizmente não está disponível à todo mundo. Precisa ser posto em condições (potável) e disponibilidade (distribuição) aos consumidores.

As vezes precisam de pequenas obras, como um poço revestido ou uma protecção numa nascente. Muitas vezes necessitam-se obras de grande investimento, como furos de grande profundidade e sistemas de bombagem e de distribuição. Estes investimentos e o funcionamento dos equipamentos provocam custos, os quais o consumidor tem de pagar.

O princípio de que o consumidor deve pagar pela água consumida foi estabelecido na Guiné-Bissau em 1991. Existe uma discrepância entre disponibilizar água potável as populações e cobrar os custos pela esta água fornecida. Gostaríamos que toda a população da Guiné-Bissau tenha acesso à água potável por causa da sua importância na alimentação, a saúde e o saneamento. Infelizmente nem toda a população da Guiné-Bissau consegue pagar os custos reais da água potável.

Constatamos o aumento da vontade da população em pagar pela água potável consumida, quando o serviço de abastecimento funcione sem interrupção e com uma gestão transparente. Existem dois razões lógicas para abastecer o máximo da população (da Guiné-Bissau) em água potável:

1. assegurar um bom estado de vida (alimentação, saúde e saneamento correcta),
2. baixar os custos da água potável em termos de preparação/distribuição em massa.

Consideramos o mercado de água como um instrumento regulador na distribuição de água potável, seja na situação de escassez, em situação de abundância ou nas intervenções de carácter social. Este instrumento (o mercado de água) está condicionado pelos:

1. regulamentos em vigor,
2. a implementação desses regulamentos,
3. mecanismos disponíveis para as intervenções, como fundos financeiros, conhecimento e experiência da economia e da técnica, etc.

Em geral, a Guiné-Bissau tem problemas com a qualidade de água e em segundo lugar com a quantidade. Problema de qualidade de água constata-se geralmente nos poços tradicionais (contaminação com bactérias coliformes). Os pontos de água protegidos (poços revestidos e furos) apresentam uma água potável (sem contaminação), mas em alguns casos com teor de ferro ou de salinidade elevado. Na Guiné-Bissau, as populações rurais se abastecem nos pontos de água protegidos (poços e furos revestidos e nascentes protegidos) e nos pontos de água não protegidos (rios, poços tradicionais e nascentes não protegidos). Nos CSU as populações abastecem-se também ao nível dos sistemas de água canalizadas. Constatamos que na época das chuvas, as populações nos CSU abastecem-se mais nos seus poços tradicionais para evitar despesas pela compra de água canalizada.

O consumo de água canalizada limita-se ao 25 litros máximo por pessoa e dia. Esta água é utilizada pelo consumo e a higiene. Para a lavagem das roupas, utiliza-se geralmente a água dos poços tradicionais. As mulheres são responsáveis pela maioria das tarefas que se relacionam com abastecimento de água com a sua administração. Sendo responsáveis de facto por todo, excepto por dar de beber ao gado. Nos CSU, ou em geral, as mulheres estão dispostas ao pagar para ter água mais perto da sua residência com o intuito de reduzir a carga de trabalho que envolve buscar água para fins domésticos.

A política de tarifas pela água canalizada da DGRH é a cobrança dos custos de funcionamento e do reinvestimento do equipamento de distribuição.

Por enquanto esta política não está a ser implementada na sua totalidade, abrangendo só a cobrança dos custos de funcionamento. Estes custos dependem do equipamento usado: geradores térmicos ou instalações solares. Por exemplo nos CSU onde os geradores térmicos estão em uso, o preço de água potável é entre 150 e 200 Francos CFA/m<sup>3</sup> (ver tabela de calculação de custos). Os custos de água potável a partir dos sistemas solares ainda não foram determinados.

Para levar as populações a consumir água dos pontos protegidos, precisam de ter reunidas as seguintes condições:

- **Técnica & financiamento** – todo o processo de levantamento (estudos) de dados dos consumidores e da situação hidrogeológica, a identificação de actividades, a procura de financiamentos e finalmente a implementação dos pontos de água protegidos (poços, furos) e dos equipamentos que permitam o exauro e a distribuição de água potável (bombas manuais, sistemas canalizadas).
- **Legalização/regulamentos** – necessitam-se de leis e regulamentos que definam o uso de água (potável). Os regulamentos devem ser actualizados segundo as necessidades do mercado e precisam ser seguidos e o cumprimento dos regulamentos deve ser controlado.
- **Organização** – identificação de entidades (empresas privadas, mecânicos, etc.) interessadas e competentes na disponibilização de peças sobressalentes e na manutenção dos equipamentos implementados. Além disso, a identificação de entidades (empresas privadas, - para-estatais, associações, comités, etc.) interessadas e competentes na gestão desses equipamentos.

Depois o processo de reconhecimento (legalização) das organizações e o seu seguimento e controlo. Identificação de entidades secundárias que assistem na gestão dos equipamentos (banco, seguro, imprensa, etc.)

- **Conhecimento e consciência dos consumidores e gestores** – o processo de identificação de sítios de implementação (tabancas), dos consumidores e das entidades de gestão dos equipamentos/fornecedores de serviço de abastecimento de água potável. Depois a comunicação (informação inicial, levantamento, selecção) começa o processo de entrega de informação aos consumidores e dos gestores para transmitir todo conhecimento necessário dos deveres e direitos. Neste processo entra também a sensibilização dos consumidores no consumo de água potável.
- **Preço do serviço** – depende da política no sector e de fundos financeiros disponíveis pela intervenção. Em princípio o consumidor tem de pagar os custos do serviço de abastecimento de água.

Há vários cálculos possíveis para determinar este preço, em princípio em 3 níveis:

1. a cobertura dos custos de funcionamento,
2. a cobertura dos custos de funcionamento e do reinvestimento,
3. a cobertura dos custos de funcionamento, do reinvestimento, e do investimento inicial.

Cada nível pode-se adicionar previsões para outras despesas e um benefício pelo explorador do equipamento. (ver anexo I – cálculo de custos de água canalizada).

Em situação de escassez de água potável, o mercado pode reagir de várias maneiras:

- aumentar o preço da água até ao máximo,
- aumentar minimamente o preço da água para obter fundos, os quais serão investidos no aumento da produção no futuro,
- manter o preço da água, utilizando fundos externos pelo investimento para aumentar a produção,
- no caso que o aumento da produção não é possível, podem ser aplicadas tarifas de caracteres sócias (p.e. 0-5m<sup>3</sup> para um preço subsidiado, 6-10m<sup>3</sup> o preço real de custos, superior a 11m<sup>3</sup> o preço real + um benefício que permite subsidiar o consumo inferior). Neste caso pode-se introduzir também tarifas especiais pelo consumo industrial.

Em Guiné-Bissau, como em vários países da África, existe o problema de **falta de poder de compra**. Independentemente disso, temos problemas no preenchimento das condições do mercado aberto:

- falta de financiamento pelos reinvestimentos (renovação dos equipamentos) e investimentos iniciais de equipamentos suplementários,
- a legislação e a política no sector está clara e aplicável; o que falta é o regulamento para a implementação desta legislação,
- existem vários actores (empresas, organizações) no sector, mas faltam as entidades secundárias na assistência de gestão (caixas de poupança e crédito, bancos),
- falta de financiamento para efectuar uma comunicação/sensibilização/promoção contínua para motivar e manter as populações a consumir água dos pontos protegidos.

Com a assistência dos nossos parceiros nacionais e estrangeiros conseguimos manter o funcionamento do serviço de abastecimento de água ao nível rural e semi-urbano.

Para que a água canalizada seja disponível para o máximo da população foi introduzido em 7 CSU uma tarifa social de ligação doméstica (na entrada do quintal) e o pagamento de água consumida através do uso de contador de cada ligação. Nesta maneira o consumidor consegue controlar o seu consumo (controlo sobre a facturação) e não há gasto de água, o que não provoca custos.

Dada a ausência de bancos e caixas de poupança e crédito, os fundos dos consumidores não podem ser guardados nas tabancas e centros semi-urbanos. Isso significa que as contribuições regulares para a manutenção do equipamento (bomba manual ou bomba eléctrica submersível, gerador) não se pratica. Geralmente os fundos entram por contribuição no momento de avaria. Uma maneira de guardar fundos, que se pratica geralmente, é a compra de combustível e lubrificantes, como de peças sobressalentes para o equipamento.

**Cálculo de custos de água canalizada**

			por mês	por ano
funcionamento	salários do pessoal da Direcção Executiva	gestor		
		operador/mecânico		
		canalizador		
	energia,	gasóleo/energia eléctrica		
	lubrificantes,	lubrificantes (óleo, etc.)		
	peças	filtros,correias, etc		
	extensão da rede	material de canalização		
	despesas admin.	papelaria		
manutenção	mão de obra	técnico(s)		
		especializado(s)		
	reparações equip. reparação da rede	peças sobressalentes		
		material de canalização		
		material de construção		
	despesas admin.	deslocações		
outras				
total/mês - ano:				
renovação	provisão para a renovação dos equipamentos	gerador		
		electrobomba		
		condutas		
		construções		
total/mês - ano:				
custo por m3		com provisões:		
		sem provisões		

<b>observação</b>	descrição:	vida útil (anos)/custo:
	gerador	10 / 5,000,000
	electrobomba	10 / 1,200,000
	condutas	25 / 45,000,000
	construções	30 / 35,000,000

**Cálculo de custos de água canalizada**

exemplo: <i>Catió</i>			por mês	por ano
<i>funcionamento</i>	salários do pessoal da Direcção Executiva	gestor	20.000	240.000
		operador/mecânico	20.000	240.000
		canalizador	20.000	240.000
	energia,	gasóleo/energia eléctrica	160.000	1.920.000
	lubrificantes,	lubrificantes (óleo, etc.)	20.000	240.000
	peças	filtros,correias, etc	24.000	288.000
	extensão da rede	material de canalização	60.000	720.000
	despesas admin.	papelaria	10.000	120.000
<i>manutenção</i>	mão de obra	técnico(s) especializado(s)	15.000	180.000
	reparações equip.	peças sobressalentes	15.000	180.000
	reparação da rede	material de canalização	25.000	300.000
		material de construção	10.000	120.000
	despesas admin.	deslocações	6.000	72.000
		outras	10.000	120.000
<i>sub-total:</i>			415.000	4.980.000
<i>10 % das receitas obrigatórias pelo seguimento para DGRH/DAAS:</i>			41.500	498.000
<i>total/mês - ano:</i>			456.500	5.478.000
<i>renovação</i>	provisão para a renovação dos equipamentos	gerador	83.350	1.000.000
		electrobomba	16.700	200.000
		condutas	250.000	3.000.000
		construções	361.150	4.333.350
	<i>total/mês - ano:</i>		711.200	8.533.350
	<i>custo por m3</i>	<i>sem provisões:</i>	152	152
<i>com provisões:</i>		389	389	

<b>observação</b>	descrição:	vida útil (anos)/custo:	consumo estimativo
	gerador	10 / 10,000,000	= 36,000m3 por ano
	electrobomba	10 / 2,000,000	com 150 ligações,
	condutas	20 / 60,000,000	20m3/mês/ligação
	construções/reservatório	30 / 130,000,000	= 100m3/dia/sistema

# DISSIPAÇÃO DE ENERGIA HIDRÁULICA NA ADUÇÃO A RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA. UMA POSSIBILIDADE DE APROVEITAMENTO.

Nuno Costa

Aluno de Mestrado de Engenharia do Ambiente da FEUP

Maria Teresa Tomás; José Tentúgal Valente

Professora Auxiliar; Professor Associado  
Departamento de Engenharia Civil, FEUP, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto  
+351 22 508 19 24, [paulap@fe.up.pt](mailto:paulap@fe.up.pt)

## RESUMO

Os sistemas adutores integrados em sistemas de abastecimento de água incorporam frequentemente diversos reservatórios de entrega alimentados graviticamente a partir de reservatórios principais a montante. A energia hidráulica associada a estas aduções, apresentando muitas vezes valores excessivos, é habitualmente dissipada sob a forma de energia mecânica e térmica, sem qualquer tipo de aproveitamento, podendo mesmo exigir o recurso a soluções específicas apropriadas, de forma a minimizar as indesejáveis solicitações das instalações e equipamento de controlo que a energia em excesso pode provocar.

A utilização desta energia hidráulica em excesso para a produção de energia eléctrica, a ser viável, poderá traduzir-se numa mais valia de interesse. Para além do aproveitamento de um recurso renovável, este tipo de instalações poderá assegurar de forma autónoma, uma produção de energia eléctrica suficiente para a alimentação de pequenas instalações, como por exemplo, os equipamentos eléctricos correntes associados ao funcionamento do próprio reservatório.

No entanto, se tal se vier a revelar de interesse, a energia eléctrica produzida por esta via, poderá, também, ter como objectivo servir de complemento à satisfação dos consumos em instalações com consumos eléctricos mais elevados ou ser encaminhada para o abastecimento da rede eléctrica pública.

A viabilidade técnico-económica será o factor determinante do interesse na realização deste tipo de aproveitamento.

Na presente comunicação pretende-se divulgar o trabalho que tem vindo a ser desenvolvido neste domínio, apresentando os estudos preliminares realizados e a informação que foi possível recolher à data, bem como algumas perspectivas de desenvolvimento futuro que se afiguram com interesse e que os trabalhos em curso permitem antever.

**Palavras-Chave:** adutoras, adução gravítica, energia hidráulica em excesso, produção de energia eléctrica

## 1. INTRODUÇÃO

Em sistemas de adução gravítica de água, sobretudo quando comandados por um reservatório de origem de onde deriva um conjunto ramificado de adutoras para entrega a diversos reservatórios situados a jusante, a regulação da pressão e do caudal nas adutoras exige, frequentemente, o recurso a equipamentos que permitam retirar ao fluido a energia em excesso que o mesmo, muitas vezes, apresenta.

Estes equipamentos, constituídos habitualmente por válvulas de regulação ou outras soluções apropriadas envolvendo mecanismos de aplicação de princípios base de hidráulica, vão permitir dissipar a energia em excesso que, de outro modo, poderia originar solicitações indesejáveis na instalação provocando danos que iriam por em causa a sua fiabilidade, tornando impraticável a adução e obrigando à necessidade de reparações.

Como é óbvio, se essa energia em excesso, que será perdida, puder ser transformada noutra tipo de energia, como a energia eléctrica, será possível recuperar, pelo menos em parte, a energia que, de outro modo, se dissipará sob a forma de energia mecânica e térmica, sem qualquer tipo de aproveitamento, mas sem deixar, naturalmente, de provocar significativa solicitação dos equipamentos e sistemas de controlo, podendo agravar a sua deterioração e obrigando, por isso, a uma manutenção periódica mais cuidada e difícil, face às características dos aparelhos envolvidos.

A energia hídrica em excesso associada ao escoamento num sistema de adução gravítica entre dois reservatórios poderá, em certos casos, permitir a transformação em energia eléctrica, com aceitável percentagem de aproveitamento, assegurando uma produção suficiente para a utilização em pequenas aplicações em que as diferenças de potencial e de intensidade de energia eléctrica sejam relativamente pouco significativas.

Afigura-se, assim, de interesse a análise da viabilidade prática, técnica e económica deste tipo de aproveitamento que, actualmente, um número significativo de sistemas de adução já existentes e em construção em Portugal, em geral os designados sistemas “em alta”, pode proporcionar.

Com efeito, estes sistemas integram, habitualmente, um conjunto diversificado de reservatórios, sendo frequentes as situações que incorporam aduções gravíticas a reservatórios de entrega, realizadas a partir de reservatórios principais. Dependendo de cada caso particular, conforme os valores do caudal transportado e do desnível topográfico disponível, poderão estar envolvidas nessas aduções perdas de energia significativas que, se aproveitadas, poderão, em termos económicos, representar uma mais valia de interesse.

Numa primeira fase, pretende-se analisar a possibilidade de instalar a montante da entrada de água num reservatório de entrega onde há necessidade de dissipação de energia hidráulica em excesso, um sistema de produção de energia eléctrica simples e autónomo, que permita a alimentação dos órgãos e equipamentos de funcionamento eléctrico existentes no reservatório como medidores vários e sistemas de automação e de iluminação.

Para além do aproveitamento de um recurso renovável, este tipo de instalação poderá apresentar um interesse particular em situações em que a satisfação das necessidades de energia eléctrica não puder ser assegurada a partir da rede nacional ou quando a implantação do ramal de alimentação envolve encargos muito elevados.

Numa fase posterior, se tal se vier a revelar de interesse, a energia eléctrica susceptível de ser produzida por esta via poderá também ter como objectivo servir de complemento à satisfação de consumos em instalações com maiores exigências ou, mesmo, ser encaminhada para o abastecimento da rede eléctrica pública.

Em cada situação particular, a viabilidade técnico-económica será o factor determinante do interesse na realização deste tipo de aproveitamento.

Na presente comunicação pretende-se divulgar o trabalho que tem vindo a ser desenvolvido neste domínio, apresentando os estudos preliminares realizados e a informação que foi possível recolher à data, bem como algumas perspectivas de desenvolvimento futuro que se afiguram com interesse e que os trabalhos em curso permitem antever.

## **1. POTENCIAL ENERGÉTICO ASSOCIADO AO ESCOAMENTO EM ADUTORAS GRAVÍTICAS**

De um modo genérico, a quantidade de energia eléctrica susceptível de ser produzida com base numa instalação constituída por uma conduta de adução gravítica entre dois reservatórios inseridos num sistema adutor de abastecimento de água, foi estimada à custa da consideração de exemplos de possíveis situações de ocorrência prática mais ou menos previsíveis e que são consubstanciadas através da admissão de pares



de valores de caudais escoados nas adutoras e de quedas, ou desníveis, disponíveis no extremo de jusante da ligação, isto é, à entrada do reservatório de jusante.

Com estes pares de valores, variáveis consoante as diferentes situações práticas concretas, foram estimadas as potências disponíveis e susceptíveis de serem mobilizadas em cada possível exemplo de instalação. Admitiu-se que a potência calculada se refere à potência útil da água, isto é, à potência correspondente ao aproveitamento da queda útil disponível, onde, portanto, está já deduzida a parcela correspondente às perdas de carga que se verificarão no sistema. O rendimento dos órgãos de produção de energia eléctrica a implantar – turbinas ou micro turbinas – suposto constante e idêntico em todas as hipóteses consideradas, foi fixado em 80%.

No Quadro 1, apresentam-se, expressos em quiloWatts (kW), os valores de potência útil previsível para uma simulação de diferentes pares de valores de caudais escoados e de quedas úteis, com gamas de valores fixadas de forma a abranger um conjunto de situações de possível ocorrência prática concreta.

**QUADRO 1 – Potências Úteis Disponíveis. Simulação de Valores Previsíveis**

Potência (kW)		Queda									
		(m)									
		10	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Caudal (l/s)	10	0,78	1,57	3,14	4,71	6,28	7,85	9,42	10,99	12,56	14,13
	20	1,57	3,14	6,28	9,42	12,56	15,70	18,84	21,97	25,11	28,25
	30	2,35	4,71	9,42	14,13	18,84	23,54	28,25	32,96	37,67	42,38
	40	3,14	6,28	12,56	18,84	25,11	31,39	37,67	43,95	50,23	56,51
	50	3,92	7,85	15,70	23,54	31,39	39,24	47,09	54,94	62,78	70,63
	75	5,89	11,77	23,54	35,32	47,09	58,86	70,63	82,40	94,18	105,95
	100	7,85	15,70	31,39	47,09	62,78	78,48	94,18	109,87	125,57	141,26
	125	9,81	19,62	39,24	58,86	78,48	98,10	117,72	137,34	156,96	176,58
	150	11,77	23,54	47,09	70,63	94,18	117,72	141,26	164,81	188,35	211,90
	175	13,73	27,47	54,94	82,40	109,87	137,34	164,81	192,28	219,74	247,21
	200	15,70	31,39	62,78	94,18	125,57	156,96	188,35	219,74	251,14	282,53

Com vista à obtenção de estimativas de valores de energia eléctrica susceptível de ser produzida numa instalação de produção associada a um reservatório de entrega, importa conhecer o tempo de mobilização da potência útil, isto é, o intervalo de tempo de funcionamento do sistema de adução que vai permitir garantir a potência disponível em cada situação considerada.

Este tempo de mobilização é variável de caso para caso e, dentro de cada caso, variará com o dia do ano e com a evolução dos consumos ao longo do tempo, dependendo do intervalo de tempo ou do somatório dos intervalos de tempo em que o caudal aduzido alimenta o reservatório de entrega.

Na presente análise, com carácter preliminar, admitiu-se o valor da potência disponível constante e considerou-se, a título de exemplo, um período total médio de adução, ou seja, em que há funcionamento da adução e, conseqüentemente, do eventual sistema de produção de energia eléctrica, de 8 horas por dia.

No Quadro 2, para o período previsível de funcionamento atrás indicado e para as várias hipóteses de potências disponíveis incluídas no Quadro 1, apresentam-se as estimativas da energia anual susceptível de ser produzida.

Na Figura 1, esquematiza-se a relação entre as diferentes variáveis intervenientes neste processo e a respectiva evolução.

Quadro 2 – Energia Anual Produtível para um Tempo de Mobilização Diário de 8 horas

Energia (MWh)		Queda (m)									
		10	20	40	60	80	100	120	140	160	180
Caudal (l/s)	10	2,29	4,58	9,17	13,75	18,33	22,92	27,50	32,08	36,67	41,25
	20	4,58	9,17	18,33	27,50	36,67	45,83	55,00	64,17	73,33	82,50
	30	6,87	13,75	27,50	41,25	55,00	68,75	82,50	96,25	110,00	123,75
	40	9,17	18,33	36,67	55,00	73,33	91,66	110,00	128,33	146,66	165,00
	50	11,46	22,92	45,83	68,75	91,66	114,58	137,50	160,41	183,33	206,25
	75	17,19	34,37	68,75	103,12	137,50	171,87	206,25	240,62	274,99	309,37
	100	22,92	45,83	91,66	137,50	183,33	229,16	274,99	320,83	366,66	412,49
	125	28,65	57,29	114,58	171,87	229,16	286,45	343,74	401,03	458,32	515,61
	150	34,37	68,75	137,50	206,25	274,99	343,74	412,49	481,24	549,99	618,74
	175	40,10	80,21	160,41	240,62	320,83	401,03	481,24	561,45	641,65	721,86
	200	45,83	91,66	183,33	274,99	366,66	458,32	549,99	641,65	733,32	824,98

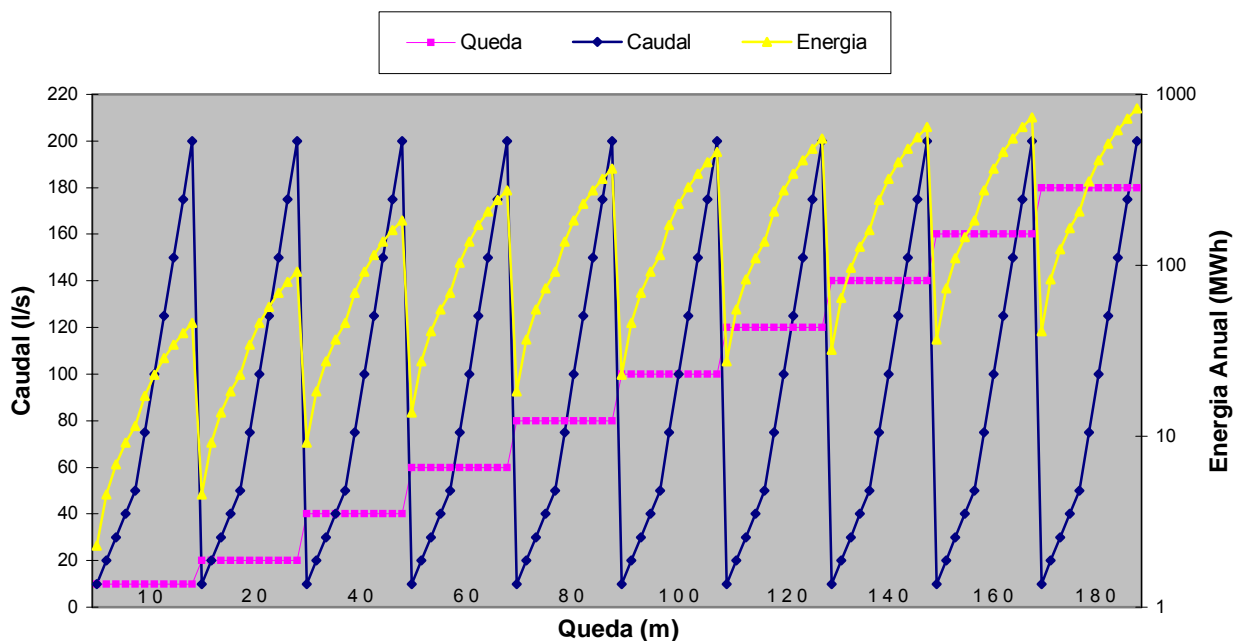


Figura 1 – Energia Anual Produtível para um Tempo de Mobilização Diário de 8 horas

Observa-se que, para as gamas de variação de valores das variáveis ensaiadas, poderá antever-se uma possibilidade de produção de energia eléctrica com valores compreendidos entre cerca de 2.000 e de 800.000 kWh anuais. Comprova-se, assim, que, pelo menos em termos teóricos, existe uma possibilidade concreta de produção de energia eléctrica a partir da energia hídrica associada a aduções gravíticas a reservatórios de entrega situados a jusante.

## 1.CONSUMOS DE ENERGIA ELÉCTRICA NUM RESERVATÓRIO TIPO

Com base na análise de registos verificados em alguns reservatórios de entrega inseridos em sistemas de adução em exploração, onde os consumos de energia não envolvem qualquer necessidade de energia eléctrica para efeitos de bombagem, reportando-se apenas ao funcionamento de medidores de controlo

(caudal, altura, pressão), equipamentos para alarme contra intrusão, iluminação interior e exterior, conclui-se que, em média, o consumo anual de energia eléctrica é da ordem de 5.300 kWh.

Verifica-se, portanto, que este tipo de consumos poderá, pelo menos em primeira aproximação, ser facilmente assegurado através da produção de energia eléctrica susceptível de ser assegurada no tipo de instalações em apreciação.

Em função dos valores da potência útil disponível em cada caso concreto e do tempo de mobilização diário susceptível de ser garantido, a energia produzida por esta via poderá mesmo vir a ter como objectivo constituir um complemento à satisfação de consumos em reservatórios que integrem equipamento com maiores consumos energéticos, como por exemplo equipamento elevatório ou, mesmo, ser encaminhada para o abastecimento da rede eléctrica pública.

A análise da viabilidade técnico-económica será, em cada situação particular, o factor determinante do interesse na realização deste tipo de aproveitamento.

Como foi já referido, este trabalho, numa primeira fase, centrar-se-á na hipótese da instalação de um sistema de produção de energia eléctrica isolado e autónomo, solução que apresentará um interesse particular nas situações em que a satisfação das necessidades de energia eléctrica não pode ser assegurada a partir da rede nacional ou quando a implantação do ramal de ligação envolve custos muito elevados.

Nestas condições, importará, então, avaliar as possibilidades técnicas e económicas, quer da produção energética em si, quer do respectivo armazenamento nos períodos em que a produção é viável (ou nos períodos de baixo consumo) de forma a assegurar a sua transferência para outros períodos em que os consumos excedam a capacidade de produção.

## 1. ESTUDOS EM CURSO. PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

Uma vez demonstrada a possibilidade prática de produção de energia eléctrica a partir da transformação da energia hidráulica dissipada na adução gravítica a um reservatório de abastecimento de água, importa estudar os processos e os meios necessários para a concretização desse aproveitamento.

Ao contrário do que habitualmente sucede em relação às instalações de pequena escala projectadas com o objectivo da produção de energia eléctrica utilizando a energia hídrica disponível nos cursos de água – aproveitamentos mini-hídricos – que, para além de equipamentos electromecânicos e de automação, envolvem um conjunto de componentes a projectar de raiz como, por exemplo, a obra de retenção, os circuitos hidráulicos, a central, etc., no caso presente as preocupações mais relevantes estão relacionadas com os equipamentos.

Com efeito, uma vez que no tipo de instalações em estudo se prevê utilizar infraestruturas existentes, projectadas para cumprirem outras funções primordiais – as funções que lhes correspondem no sistema adutor onde estão integradas – , é aceitável admitir que a incidência das obras de construção civil e de implantação de condutas seja desprezável face aos custos do equipamento.

Será, assim, necessário começar por centrar os estudos a desenvolver nos equipamentos, (em particular, nos relacionados com a produção) que, pelo menos em primeira aproximação, possam apresentar características susceptíveis de corresponder aos objectivos pretendidos.

Não se dispondo de qualquer informação sobre a eventual existência, em funcionamento, de aproveitamentos semelhantes aos propostos no âmbito deste trabalho, fez-se uma consulta alargada a fabricantes de equipamento, de forma a averiguar as soluções disponíveis no mercado.

Apesar de haver ainda muito trabalho a desenvolver, foi já possível reunir alguma informação que se julgou de interesse referir, de forma sumária, na presente comunicação e que, para facilitar a apresentação, foi enquadrada em duas áreas envolvendo, respectivamente, micro-centrais convencionais e sistemas de produção isolados e autónomos.

## A – Utilização de Energia Hídrica em Micro-centrais Convencionais

Na área de utilização da energia hídrica em micro-centrais (correspondentes a potências instaladas inferiores a 0,5 MW, de acordo com a classificação adoptada pela UNIPEDE – União Internacional dos Produtores e Distribuidores de Energia Eléctrica), as informações disponíveis e as propostas de equipamento são bastante numerosas.

Nesta área, a maioria das soluções disponibilizadas pelos fabricantes de equipamento está vocacionada para os aproveitamentos convencionais de pequena escala da energia hídrica disponível em cursos de água, associados a investimentos no sector da produção independente de electricidade, com o objectivo de abastecimento da rede pública ou de servir como complemento de consumo, por exemplo, em unidades industriais.

Apesar de não ser este o enquadramento do estudo em curso, diversos equipamentos utilizados nestes aproveitamentos, em particular as turbinas hidráulicas, que representam a principal componente dos custos globais a considerar, poderão reunir condições que possibilitem a sua adaptação às instalações em estudo.

Estão disponíveis no mercado, diversos tipos de turbinas hidráulicas que têm sido concebidas para trabalhar com diferentes gamas de quedas e de caudais e que, em geral, apresentam um rendimento fortemente condicionado pelas respectivas velocidades específicas e dimensões.

A título de exemplo, apresentam-se na Figura 2 as gamas de aplicação típicas de alguns tipos de turbinas hidráulicas produzidas por um dos fabricantes consultados.

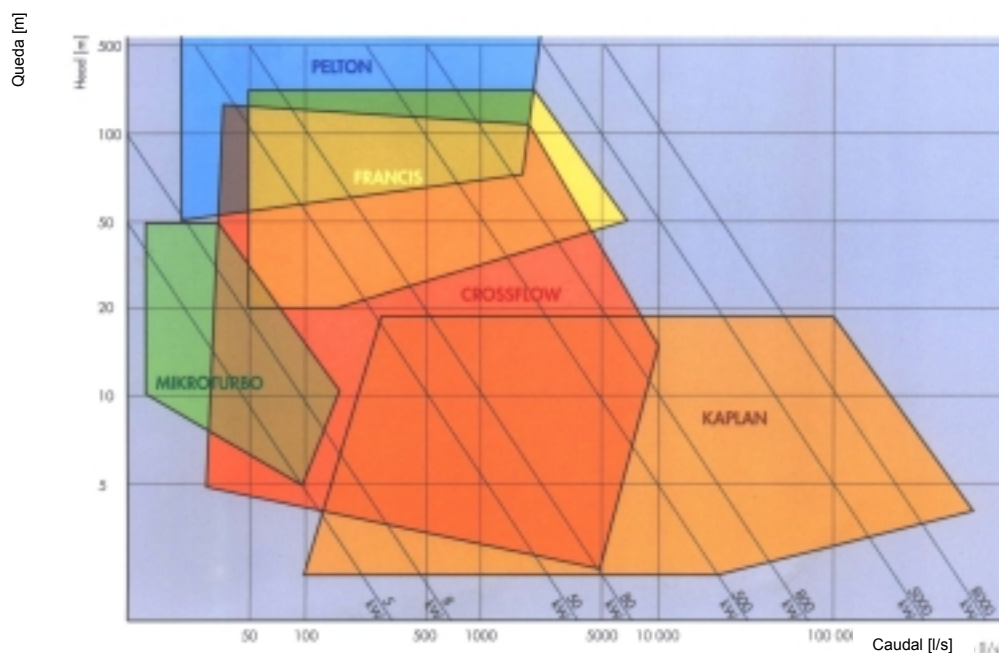


Figura 2 – Gamas de aplicação de turbinas hidráulicas. (cortesia Hydrolink – República Checa)

Apesar de, para cada situação particular, ser indispensável avaliar o tipo de turbina hidráulica mais adequado às características específicas inerentes a essa situação, em face da ordem de grandeza dos valores das quedas e dos caudais que o tipo de instalações em estudo no presente trabalho poderá proporcionar, há certamente algumas soluções que, desde logo, sobressaem.

Os estudos já realizados sugerem que, em princípio, quer as turbinas Pelton, quer as turbinas Banki-Michell (ou Cross-Flow) apresentam boas potencialidades de poderem ser adaptadas aos objectivos pretendidos.

Para além de abrangerem as gamas de caudais e de quedas expectáveis no tipo de aproveitamentos em estudo, proporcionam um conjunto de características que se afiguram indispensáveis neste tipo de instalações, como, por exemplo:

- concepções simples e compactas, garantindo facilidade de operação e de manutenção e reduzidas exigências de espaço de implantação;
- possibilidade de instalação em sistemas de água potável.

Em relação às turbinas Pelton, destacam-se, ainda, outras características de interesse, como:

- excelente adaptação a gamas de quedas elevadas e pequenos caudais, com elevados rendimentos;
- possibilidade de montagem com eixo horizontal ou eixo vertical e com um ou vários injectores.

A título de exemplo, apresenta-se na Figura 3 a gama de aplicação típica das turbinas Pelton comercializadas por um dos fabricantes consultados.

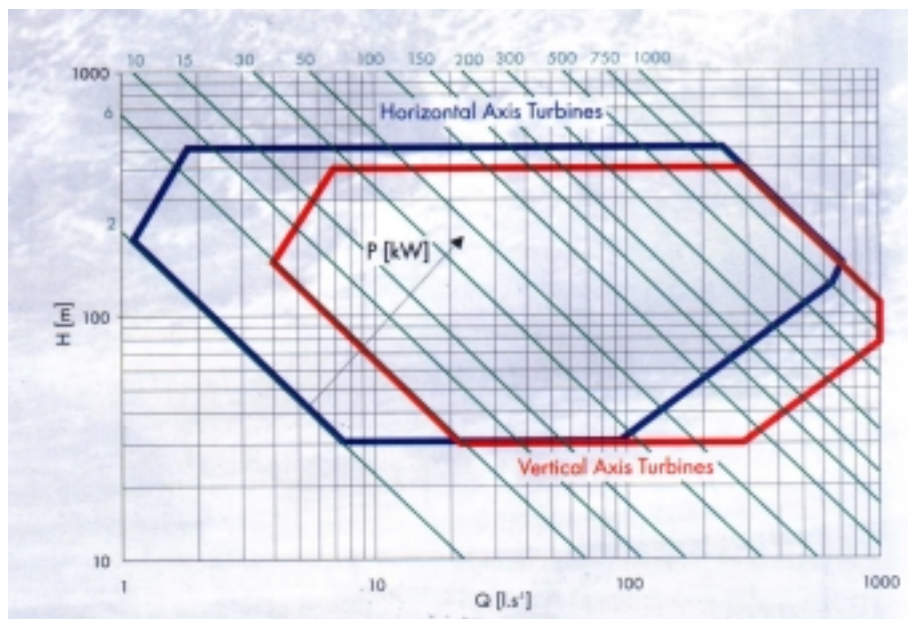


Figura 3 – Gamas de aplicação das turbinas Pelton Hydromor (cortesia Hydrolink – República Checa)

## B – Utilização de Energia Hídrica em Sistemas de Produção Isolados e Autónomos

No que diz respeito aos sistemas de produção isolados, completamente autónomos, foi possível comprovar a disponibilidade no mercado de micro-centrais compactas de variados tipos, propostas por diversos fabricantes de diferentes nacionalidades.

Os equipamentos de maior envergadura, visando mais uma vez o aproveitamento da energia hídrica associada a cursos de água, têm sido concebidos com o objectivo de satisfazer as necessidades de energia eléctrica em locais onde a mesma não pode ser assegurada pela rede pública. Na maior parte dos casos, os potenciais utilizadores destes equipamentos correspondem a habitações ou aldeias isoladas, refúgios de montanha, explorações agrícolas, pequenas unidades industriais, etc.

A título de exemplo, entre diversas alternativas disponíveis nesta área, referem-se as micro-centrais hidroeléctricas ECOWATT produzidas pela empresa italiana IREM.

Nas instalações equipadas com estas centrais, que podem incorporar turbinas Pelton ou Banki Michell (cross-flow) a energia produzida pelo grupo turbina-gerador, que não seja directamente utilizada, é dissipada através de resistências eléctricas, que podem dissipar na área envolvente, constituindo, portanto, o sistema de aquecimento ambiente, ou ser utilizadas para aquecimento de água para usos diversos, como aquecimento central ou águas quentes sanitárias.

No que diz respeito a equipamentos autónomos de menor escala, foi também possível obter diversos tipos de propostas, utilizando, em geral, um pequeno grupo turbina-gerador conjugado com uma bateria que armazena a energia produzida para posterior utilização quando os consumos excedem a produção. Julga-se de interesse destacar as mini-centrais Hydropower, comercializadas pela empresa francesa CISMAC Electronique, pelas potencialidades que parecem evidenciar, quer em termos de aplicabilidade imediata, quer como hipótese de aplicação a encarar no âmbito do trabalho em curso.

As mini-centrais Hydropower foram concebidas para poderem ser instaladas em cursos de água, ou directamente incorporadas em condutas de abastecimento de água, com o objectivo de fornecerem energia eléctrica para alimentação de equipamento electrónico associado a unidades de automação e controlo, a implantar em locais isolados.

Constituindo unidades compactas de fácil instalação, as diferentes centrais de fabrico standard que este fabricante comercializa adaptam-se a condutas de diversos diâmetros nominais (65, 80, 100, 110 e 125 mm), necessitando de um comprimento de instalação da ordem de 0,6 m e podendo funcionar com caudais compreendidos entre 1,6 e 33 l/s e pressões até 160 mca.

Estas mini-centrais poderão assegurar a alimentação contínua e autónoma de equipamento de pequeno consumo como: medidores de caudal, transmissores de nível, unidades de telegestão ou de controlo remoto, bem como equipamento mais exigente mas cujo consumo médio diário seja relativamente reduzido, como bombas doseadoras, válvulas motorizadas, etc.

A título de exemplo, apresentam-se na Figura 4 duas soluções que ilustram a aplicação destas mini-centrais, com o objectivo específico de assegurar uma alimentação permanente de energia eléctrica a equipamento de medição de nível em reservatórios.

No primeiro caso – Figura 4 A – a central foi instalada directamente na conduta de saída do reservatório que alimenta uma rede de distribuição de água a jusante. No segundo caso – Figura 4 B – a central foi instalada numa derivação do troço ascendente da conduta adutora que abastece o reservatório.



4 A



4 B

Figura 4 – Exemplos de aplicação das mini-centrais Hydropower (cortesia Cismac Electronique – França)

Este estudo encontra-se em curso, não tendo sido ainda possível reunir o conjunto de informações consideradas indispensáveis para o desenvolvimento da fase seguinte do plano de trabalhos, em que se prevê implantar, num sistema adutor em serviço, uma instalação de produção de energia eléctrica tipo, com o objectivo de realizar a correspondente monitorização.

Um dos aspectos ainda em estudo está relacionado com as soluções de implantação do equipamento e com a análise das exigências específicas que, em particular, os diferentes tipos de turbinas susceptíveis de satisfazer os requisitos de base podem acarretar.



Com efeito, uma vez que se pretende utilizar infraestruturas existentes, uma das questões-chave de interesse para a viabilização técnico-económica destes aproveitamentos está relacionada com a minimização dos encargos com as obras de adaptação eventualmente necessárias.

Outra questão ainda em aberto está relacionada com o equipamento acumulador de energia, de forma a permitir a transferência da energia produzida nos períodos em que a produção é viável e excede o consumo, para os períodos em que os consumos são superiores à produção.

Espera-se, assim, numa segunda fase, adquirir alguma experiência prática sobre a exequibilidade deste tipo de instalações e reunir informações específicas sobre as eventuais dificuldades a ultrapassar ou sobre possíveis soluções alternativas que possam vir a constituir sugestões úteis para o projecto e a concretização prática destes aproveitamentos.

## 1. ANÁLISE ECONÓMICA E FINANCEIRA

Sobretudo numa fase inicial de desenvolvimento de um projecto do tipo do que agora se propõe onde há, ainda, algum desconhecimento prático sobre as opções mais aconselháveis, é importante ter em conta alguns cuidados que tornem possível e sustentável a adopção de uma solução do tipo da preconizada para produção de energia eléctrica.

Logo à partida, há duas opções a considerar: a hipótese correspondente a uma instalação de produção para colocação de energia na rede pública (que, depois, fornecerá a energia que vier a ser necessária para funcionamento corrente dos equipamentos) ou, em alternativa, a hipótese de uma instalação autónoma visando apenas o abastecimento dos equipamentos associados ao reservatório, sem ligação à rede externa de alimentação de energia.

Na primeira opção, para além dos aspectos técnicos, importa avaliar a viabilidade económica do empreendimento. A metodologia mais utilizada para o efeito, baseia-se na obtenção de indicadores de índole económica e financeira como a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), o Valor Actualizado Líquido (VAL) ou o Número de Anos de Retorno do Investimento (T). Comparando os valores calculados com valores referidos como padrão, pretende-se obter a garantia possível para a exequibilidade do projecto durante o período de vida ou de exploração previsível.

Para a análise a desenvolver no caso desta primeira opção, as variáveis base, considerando como período de análise um ano, são, por um lado, a produção de energia eléctrica, que corresponde às receitas a obter nessa produção e, por outro, os encargos, que incluem ou estão relacionados com o investimento necessário para o conjunto de equipamentos a instalar com vista à produção de energia e as despesas, abrangendo estas os custos financeiros inerentes ao investimento e as despesas de manutenção das instalações envolvidas.

Em relação aos encargos de investimento, importa salientar que, como foi já referido, os mesmos, praticamente apenas se reportam ao equipamento a considerar (com a principal componente resultante do custo das turbinas hidráulicas) e respectiva instalação e ensaios.

Também não será considerada a componente relacionada com o ramal de ligação à rede nacional de energia eléctrica – que, muitas vezes, representa um encargo significativo – uma vez que na hipótese que está a ser analisada, este ramal tem, de qualquer modo, de ser implantado para receber a energia eléctrica que irá ser solicitada à rede pública.

Para exemplificar o desenvolvimento da análise de viabilidade económica e financeira deste tipo de projectos, seleccionou-se uma das hipóteses que se enquadram nos exemplos dos Quadros 1 e 2. Considere-se, então, a situação correspondente aos seguintes valores das variáveis envolvidas:

Caudal	..... 100,0 l/s
Queda	..... 40,0 m
Tempo Diário de Turbinamento	..... 8,0 horas
Potência Útil Instalada	..... 31,4 kW
Energia Média Anual Produzida	..... 91.664,6 kW.h

Por outro lado, consideraram-se como pressupostos de índole económica e financeira, necessários ao desenvolvimento dos cálculos pretendidos, os seguintes:

Preço Médio de Aquisição do kWh	..... 0,065 euros
Despesas Anuais de Manutenção	..... 1.000 euros
Taxa Anual de Juro para Empréstimo	..... 4,0 %
Investimento	..... 30.000 euros

O valor indicado para o investimento global de aquisição e instalação dos equipamentos para a produção de energia eléctrica, tem de considerar-se com alguma reserva uma vez que foi obtido por consulta directa e simples a um fornecedor deste tipo de equipamento, ou seja, não traduz o resultado de uma consulta alargada, nem tem um rigor de definição como aconteceria se correspondesse a uma avaliação realizada no âmbito de um projecto desenvolvido.

Com base nos pressupostos anteriores, obtiveram-se os seguintes indicadores:

VAL (Valor Actualizado Líquido)	..... 4910 euros
TIR (Taxa Interna de Rentabilidade) a 10 anos	..... 10%
T (Tempo de Retorno)	..... 6 anos

Os resultados obtidos podem considerar-se interessantes, traduzindo que, aceitando os pressupostos indicados, a viabilidade de um projecto com um investimento deste tipo pode ser rentável e aliciente, ainda e sobretudo porque envolve o aproveitamento de uma potencialidade associada a um recurso renovável que, de outro modo, será desperdiçada.

Mesmo havendo lugar à variação de algumas das variáveis anteriores, em particular a menos garantida – correspondente, como já referido, ao valor do investimento inicial – a rentabilidade não é significativamente afectada embora, como é óbvio, seja menor no caso de haver acréscimo de custos.

Na segunda opção, a avaliação consistirá apenas na comparação relativa ao investimento inicial das duas soluções alternativas – de ligação à rede pública de energia, ou da implantação de uma solução autónoma – conjugada com a incorporação dos encargos com a energia eléctrica necessária, que a primeira solução envolve.

Com efeito, convirá salientar que, para a hipótese de produção de energia eléctrica preconizada nesta segunda opção, isto é, de produção isolada e autónoma e somente para aplicação nos equipamentos integradas nos usos normais e na gestão corrente de um reservatório de abastecimento de água, a energia eléctrica que interessa produzir é aquela que é necessária para o normal funcionamento desses equipamentos.

Não é, portanto, aplicável o princípio alternativo de produção de toda a disponibilidade do sistema e injeção da energia produzida na rede eléctrica nacional para, depois e quando necessário, ser solicitada à mesma rede a energia necessária para a exploração dos equipamentos.

Nestas condições, a energia eléctrica a produzir corresponderá, apenas, à energia necessária ao funcionamento dos equipamentos, pelo que, de acordo com a estimativa apresentada no capítulo 3, será da ordem de 5.300 kWh por ano.

Assim, o valor da receita eventual resultante da produção é substituído pela prevista despesa a pagar ao fornecedor de energia eléctrica que, de acordo com as informações obtidas em relação a casos similares em exploração é de cerca de 1.000 euros por ano.



Neste caso, atendendo a que as despesas relativas à manutenção são equiparáveis às “não despesas” com energia eléctrica, a situação de comparação será a do investimento inicial para a construção do ramal de energia eléctrica e respectivos equipamentos, como o posto de transformação, em alternativa à instalação de um sistema de produção autónomo.

Cada situação particular deverá ser analisada individualmente, mas, sobretudo em casos onde o ponto de ligação à rede eléctrica esteja afastado (a uma distância superior a 2 km) e se, adicionalmente houver necessidade de colocação de um posto de transformação, uma solução do género da indicada pode ser economicamente mais vantajosa.

## 1. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode concluir-se que o aproveitamento de energia hidráulica disponível à entrada de reservatórios de abastecimento de água, com o objectivo de produção de energia eléctrica, constitui uma possibilidade que pode justificar o seu equacionamento.

Em particular, este aproveitamento poderá apresentar um especial interesse prático em situações como as de reservatórios de entrega implantados em zonas afastadas de eventuais “pontos” para ligação à rede eléctrica e onde os consumos de energia eléctrica expectáveis não sejam muito significativos – por exemplo, inexistência de instalações de bombagem associadas. Nestes casos, é importante a consideração de soluções que contemplem equipamentos acumuladores de energia que, portanto, permitam a transferência da energia produzida em determinados períodos de tempo em que a produção é viável e excede os consumos para utilização, quando necessário, nos restantes.

Inclusive, é possível encontrar presentemente, no mercado soluções que envolvem princípios semelhantes, constituindo pequenas centrais de relativa simplicidade e fácil instalação, compactas e autónomas, vocacionadas para utilizações de pequena escala. Pelas potencialidades que parecem evidenciar, estas soluções justificam uma análise das hipóteses de adaptação aos objectivos envolvidos no âmbito do presente trabalho.

Para cada caso concreto, de forma a possibilitar uma tomada de decisão fundamentada sobre o interesse da instalação do tipo de aproveitamento preconizado, é absolutamente indispensável a realização de uma análise económica e financeira adequada envolvendo as características específicas da situação em apreciação, que atenda também a aspectos com incidências técnicas condicionantes ou significativas, como por exemplo, as possíveis dificuldades práticas da instalação do ramal de energia eléctrica a partir da rede eléctrica nacional.

Importa referir o nulo impacto ambiental deste tipo de solução onde há a considerar apenas os eventuais ruídos e vibrações adicionais, sem qualquer significado, habitualmente, face à situação envolvente.

De salientar, ainda, a necessidade de não poder haver qualquer tipo de transmissão à água em circulação de quaisquer substâncias ou produtos, que provoquem alterações da qualidade de água aduzida, situação que, obviamente e sem qualquer alternativa, inviabilizaria, desde logo, qualquer solução deste tipo. Contudo, este tipo de situação não oferece qualquer dificuldade sendo, hoje em dia, facilmente controlável e ultrapassável.

